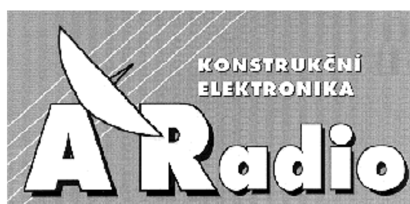


ROČNÍK IX/2004. ČÍSLO 2

Amatérské RADIO

ŘADA B - PRO KONSTRUKTÉRY

ROČNÍK LIII/2004. ČÍSLO 2

V TOMTO SEŠITĚ

KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

Vydavatel: AMARO spol. s r. o.
Redakce: Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel.: 2 57 31 73 11, tel./fax: 2 57 31 73 10.
Šéfredaktor ing. Josef Kellner, sekretářka redakce Eva Kelárková, tel. 2 57 31 73 14.
Ročně vychází 6 čísel. Cena výtisku 36 Kč.
Rozšiřuje PNS a. s., Transpress spol. s r. o., Mediaprint & Kapa a soukromí distributoři.
Předplatné v ČR zajišťuje **Amaro** spol. s r. o. - Michaela Jiráčková, Hana Merglová (Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel./fax: 2 57 31 73 13, 2 57 31 73 12. Distribuci pro předplatitele také provádí v zastoupení vydavatele společnost Mediaservis s. r. o., Abocentrum, Moravské náměstí 12D, P. O. BOX 351, 659 51 Brno; tel: 5 4123 3232; fax: 5 4161 6160; abocentrum@mediaservis.cz; reklamace - tel.: 800 171 181.
Objednávky a predplatné v Slovenskej republike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava 3, tel./ /fax (02) 44 45 45 59, (02) 44 45 06 97 - predplatné, (02) 44 45 46 28 - administratíva; email: magnet@press.sk
Podávání novinových zásilek povoleno Českou poštou - ředitelstvím OZ Praha (č.j. nov 6005/96 ze dne 9. 1. 1996).
Inzerci v ČR přijímá redakce, Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel.: 2 57 31 73 11, tel./fax: 2 57 31 73 10.
Inzerci v SR vyřizuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, 821 02 Bratislava, tel./ /fax (02) 44 45 06 93.
Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor (platí i pro inzerci). Nevyžádané rukopisy nevracíme.
http://www.aradio.cz; *E-mail*: pe@aradio.cz
ISSN 1211-3557, MK ČR E 7443



Ročník 2003 na CD ROM

Vážení čtenáři, nyní vychází nový CD ROM s ročníkem 2003 všech časopisů našeho vydavatelství.

CD ROM 2003 zahrnuje kompletní obsah časopisů Praktická elektronika A Radio, Konstrukční elektronika A Radio, Electus 2003 a Amatérské radio za rok 2003 (inzerce je vynechána).

Vše je zpracováno ve formátu pro elektronické publikování **Adobe PDF**.

Na disku je nahrán nový prohlížecí program **Adobe Acrobat Reader 6.0 CZ.** Nelze použít starší verzi 3.0, proto si musíte vždy starý prohlížeč přeinstalovat.

Po nainstalování prohlížecího programu Acrobat jsou tři možnosti otevření požadovaného časopisu. První možností je otevřít přímo soubor, např._PE07_2003.pdf a ukáže se první strana čísla 7 Praktické elektroniky A Radia. V ní můžeme listovat pomocí šipek v liště nástrojů nebo stačí kliknout na číslo stránky v obsahu a ta se sama zobrazí.

Druhou možností je otevřít soubor _Amaro2003.pdf. Objeví se dvě stránky se všemi titulními listy jednotlivých časopisů. Stačí kliknout na jeden z nich, otevře se žádaný časopis na první straně a dále pokračujeme jako v předchozím odstavci.

Poslední možnost je otevřít soubor _obsah2003.pdf, objeví se známý obsah z PE 12/2003 (nebo na soubor obsahAR2003.pdf - pro obsah Amatérského radia) a kliknutím na číslo stránky se otevře přímo požadovaný článek.

Na zbytek místa na CD ROM jsme nahráli:

- **Katalog firmy DOE (ferity Pramet, součástky Eupec).**
- **Katalog firmy Compo (katalog stavebnic).**
- **Katalog firmy PS electronic. Obsahuje katalogové listy součástek.**
- **Programy ke konstrukcím uveřejněným v PE a KE.**
- **Katalog firmy BEN - technická literatura (katalog knih, www stránky - včetně souborů ke stažení).**

Věříme, že se vám bude nový CD ROM líbit a že jím opět rozšíříte svou elektronickou knihovnu.

Redakce

Popsaný CD ROM si lze objednat telefonicky (2 57 31 73 12 a 2 57 31 73 13) nebo poštou na dobírku, případně osobně na adrese: AMARO spol. s r. o., Radlická 2, 150 00 Praha 5. CD ROM si také bude možné zakoupit v některých prodejnách knih a součástek. Lze si ho také objednat na Internetu: www.aradio.cz; E-mail: pe@aradio.cz

Cena CD ROM je 350 Kč + poštovné + balné. Předplatitelé časopisů u firmy AMARO mají výraznou slevu. Pouze pro ně bude CD ROM v ceně 220 Kč + poštovné + balné.

Zájemci na Slovensku si mohou CD ROM objednat u firmy Magnet-Press Slovakia s. r. o., P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava, tel./fax (02) 444 545 59, magnet@press.sk

Z dějin vědy a techniky

Historie elektřiny a magnetizmu

Věda od starověku po novověk

O **Gottfriedu Wilhelmu Leibnitzovi** (1646 až 1716), který byl v matematice pokračovatelem Newtonovým, jsme již psali v KE 6/2002.

Rozpracoval dopodrobna diferenciální počet a především ukázal jeho možné aplikace.

Pokračovatelem Römerovým byl **James Bradley** (1692 až 1762), profesor astronomie v Oxfordu a později ředitel královské hvězdárny v Greenwichi, který vysvětlil zdánlivý posun blízkých stálic oproti vzdáleným a věnoval se pozorování zemské osy.

Joseph Black (1728 až 1799) je zakladatelem měření množství tepla (kalorimetrie) a poznal, že i plynné látky mají svou měřitelnou váhu. Narodil se ve Francii, ale rodina pocházela ze Skotska. Sám studoval ve Skotsku lékařství a přírodní vědy, zpočátku byl lékařem a později byl jmenován profesorem chemie na univerzitě v Glasgow.

On a tři další učenci - **Joseph Priestley** (1733 až 1804), který se zprvu zajímal o elektrické jevy a napsal roku 1767 „Dějiny elektřiny“, **Wilhelm Scheele** (1742 až 1786) **a Henry Cavendish** (1731 až 1810) jsou zakladateli chemie jako samostatného odvětví přírodních věd. Poněvadž minimálně publikovali, pracovali prakticky ve stejnou dobu na stejných problémech, takže by se mohlo zdát, že pracovali společně.

V 18. století, jak vidíme, již rozmach přírodních věd byl ohromný. Došlo i na zkoumání jevů elektrických a magnetických, kterému se věnoval **Charles Augustin Coulomb** (1736 až 1806), o kterém jsme referovali hned na počátku našeho seriálu v KE 3/1999. Ale i ten měl řadu předchůdců (viz Priestley).

Jednou ze zásluh Coulomba bylo, že soustředil všechna do té doby známá fakta z oboru elektřiny a magnetismu a snažil se je uspořádat a vysvětlit. Tím dal základ elektrostatice a umožnil dalším badatelům, aby se věnovali magnetismu. Coulomb tedy měl své předchůdce. Např. nerost magnetit a jeho schopnost přitahovat železo byly známy již v dobách před naším letopočtem. Stejně tak Řekům byl znám účinek třeného jantaru (nazývali jej elektron) na malá tělíska. Dokázali také zhotovit umělý magnet potíráním železa magnetitem a vědělo se, že zmagnetizované dráty se vždy stáčejí severojižním směrem. Kolumbus při svých cestách zjistil deklinaci - jev, který tehdy nikdo nedokázal vysvětlit a který působil mořeplavcům značné problémy.

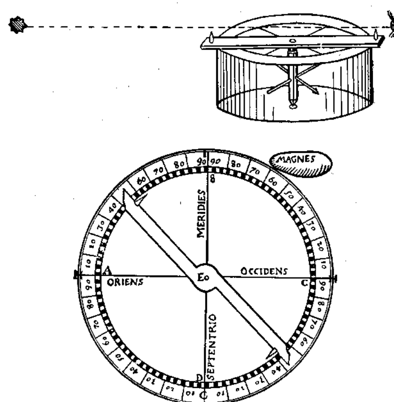
Prvním, kdo se snažil vysvětlit jevy týkající se magnetismu, byl anglický lékař **Gilbert**. Ten objevil, že každý magnet lze dělením rozdělit na dva, že každý takovýto rozdělený magnet má opět dva póly a že nelze docílit, aby byl jeden pól získán samostatně. Leccos z jeho poznatků bylo vysvětleno až o 200 let později. Gilbert první vyslovil přesvědčení, že země samotná je velkým magnetem. Zjistil, že mimo jantaru ještě i jiné látky, např. diamant, safír, sklo a síra, se při tření elektrizují.

Další pokrok učinil Guerick prvním krokem ke třecí elektrice a Leibnitz svým pozorováním elektrických jisker (od té doby byly blesky pozorované při bouřích považovány za elektrické jevy). Guerick pak přišel na to, že existuje nejen elektrické přitahování, ale i odpuzování, a Boyle zjistil, že na elektrické i magnetické účinky nemá vzduchoprázdný prostor žádný vliv.

Uplynulo dalších 60 let k tomu, aby **Stefan Gray** poznal, že některé látky jsou schopné vodit elektřinu, že existují látky vodivé a nevodivé. Poznal, že dutá elektřinou nabitá kostka se chová úplně stejně jako kostka ze stejného materiálu a stejných rozměrů, ale plná. Z toho usoudil, že elektřina je pouze na povrchu těles. Dále zjistil, že se elektrické a magnetické síly navzájem neruší.

V roce 1733 objevil **Dufay** v Paříži, že elektřiny jsou dva druhy opačných vlastností, a ty byly nazvány elektřinou kladnou a zápornou.

Také zjistil, že tenký plátek zlata nabitý elektřinou získanou ze skla byl třenou pryskyřicí přitahován a nikoliv odpuzován - trvalo delší dobu, než tento objev byl vůbec uznán.



Námořní kompas podle Gilberta

Pak v době, kdy již byla známa třecí elektrika, děkan kostela v Pomořanech **Ewald Jürgen v. Kleist** elektrisoval v roce 1745 hřebík vložený do izolované lahve. Když jej chtěl vyjmout, držel se druhou rukou lahve a dostal silnou ránu. Když lahev naplnil alkoholem nebo rtutí, dostal ránu ještě větší.

O rok později se podobné pokusy konaly v Leydenu v Holandsku a od té doby byla nazývána Leydenskou lahví.

Pak potáhli lahev kovovými povlaky a **Benjamin Franklin** přišel na to, že povlaky mají opačný náboj. Když se povlaky z lahve stáhly, zůstal nabitý i povrch skla.

Teprve v roce 1762 se přišlo na to, že sklo nehraje žádnou podstatnou roli, že „zesilovací účinek“ se dostavuje i bez skla, když dva plechy zavěsili rovnoběžně blízko sebe. Trvalo to dalších 20 let, než Coulomb tyto jevy vysvětlil.

Na přelomu 18. a 19. století pak **Humpry Davy** (1778 až 1829) zkoumal chemické účinky elektřiny - rozklad vody. Podařilo se mu vyloučit do té doby neznámé kovy draslík a sodík.

To byl velmi zajímavý chlapík - pocházel z chudé rodiny řezbáře a byl vyučeným ranhojičem, v devatenácti letech vstoupil do ústavu, který si vytkl za cíl využívat různé plyny k léčení nemocí. Tam měl pro chemické pokusy svou laboratoř, pracoval na výrobě kysličníku dusného (rajský plyn), jehož účinky sám na sobě vdechováním zkoušel a objevil tak jeho omamné vlastnosti.

Později v Londýně demonstroval různé jevy s využitím Voltovy baterie včetně elektrického oblouku a udělal tak velký dojem, že byl dokonce povýšen do šlechtického stavu a oženil se s dcerou z velmi zámožné rodiny.

V té době byl učiněn také ohromný pokrok v nauce o světle. Sluší se jmenovat tři osobnosti: **Josef Fraunhofer** (1787 až 1826), který vyráběl přesné optické pomůcky a objevil tzv. Fraunhoferovy čáry ve slunečním spektru, **Thomas Young** (1773 až 1829), který byl lékařem a položil základy vlnové teorii světla **a Augustin Fresnel** (1788 až 1827), který tuto teorii dokonale rozpracoval a věnoval se výzkumu polarizovaného světla.

Pokusy s třecí elektrikou, „umělé blesky“, elektrizování předmětů a nakonec i osob - to vše byly ve své době sice téměř zázraky, ale z dnešního pohledu víceméně hračky, které neměly praktického využití.

(Dokončení na str. 39)

AMATÉRSKÁ HUDEBNÍ ELEKTRONIKA

Vojtěch Voráček, OK1XVV

(Dokončení z KE 6/2003)

Koncový zesilovač LEACH AMP 300 W/4 Ω

Tento zesilovač, jehož schéma je na obr. 95, vznikl úpravou zapojení předcházejícího koncového zesilovače LEACH AMP 200 W/4 Ω. Byly přidány ještě další dva koncové tranzistory (celkem jich je šest) a příslušné součástky - rezistory v bázích a emitorech a snímací rezistory pro ochranné obvody. Tím se rozložilo zatížení koncových tranzistorů a zesilovač vyhoví pro výstupní výkon kolem 300 W. Napájecí stejnosměrné napětí potřebné pro tento výkon na zátěži 4 Ω je kolem 2x 62 V při zatížení.

Koncovým tranzistorům je potřebné zajistit odpovídající chlazení, proto pokud možno nepoužívejte slídové či jiné podložky pod tranzistory a raději izolujte celé chladiče.

Pokud možno větším chladičem určeným pro montáž na desku s plošnými spoji opatřete i budiče Q16 a Q17.

V některých uveřejněných konstrukcích jsou koncové tranzistory umístěny na desce s plošnými spoji a teplo se z nich přenáší na chladič tlustostěnným úhelníkem nebo U-profilem. Tranzistory musí být v tomto případě izolovány od chladiče, respektive od profilu. Toto řešení je sice pohodlné (není potřebné „drátovat" vývody tranzistorů v pouzdrech TO-3), ale není příliš vhodné pro velké výkony a hudební či profesionální nasazení. Při osazení šesti tranzistorů (dokonce méně vhodných, než MJ15003/4) na úhelníku o tloušťce stěny 6 mm občas někdo udává dosažitelný výkon 400 W, což je však nereálná hodnota při zachování spolehlivosti. Úhelník s tloušťkou stěny 6 mm nezajistí dostatečný přenos tepla na chladič, tranzistory jsou pak horké a chladič výrazně chladnější. Tažený hliníkový úhelník se stěnami tlustšími než 6 mm se zase těžko sežene. Vzhledem k potřebnému rozestupu tranzistorů také vychází deska s plošnými spoji zbytečně velká a má nepraktický tvar.

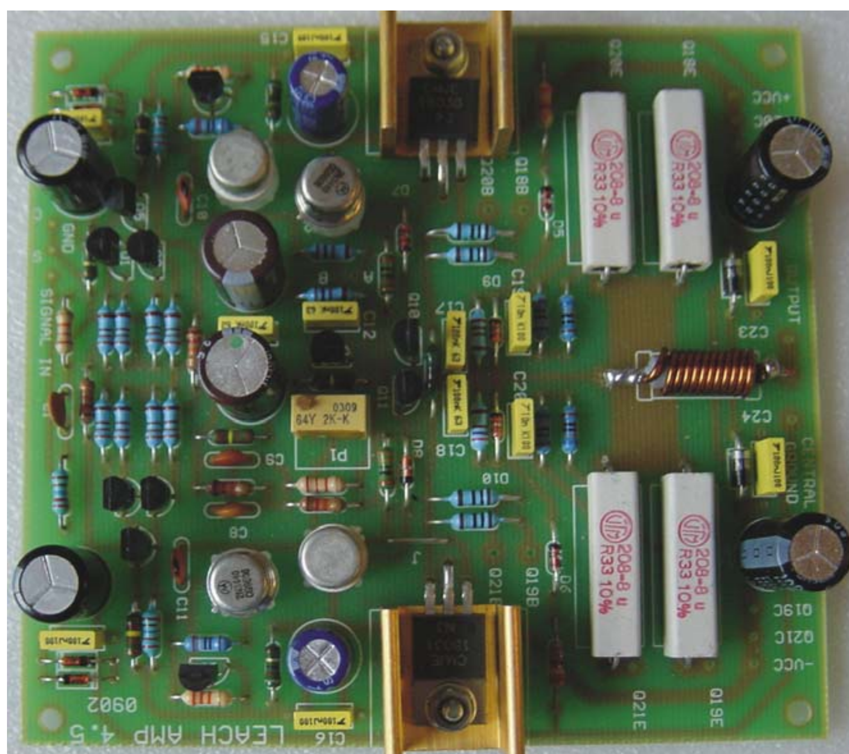
Pokud by přeci jen někdo chtěl desku upravenou přímo pro montáž koncových tranzistorů na chladič bez drátových propojek, může se u mne informovat (moje e-mailová adresa je: *v.voracek@quick.cz*) - připravuji i takové řešení s tranzistory v pouzdrech v plastu, které je sice méně univerzální, avšak pohodlnější.

Všechny součástky zesilovače (až na koncové tranzistory) jsou umístěny na desce s jednostrannými plošnými spoji. Deska je podobná jako u předchozího zesilovače o výkonu 200 W, byla však přepracována a upravena. Přibyly nejen další potřebné součástky, ale také držáky pojistek jsou umístěny přímo na desce, což zjednodušuje konstrukci. Dále byl doplněn oddělovací vstupní kondenzátor, který je vhodný při připojení běžce potenciometru hlasitosti přímo na vstup koncového zesilovače. Odděluje stejnosměrnou složku, čímž zabraňuje chrastění potenciometru a posuvu zbytkového stejnosměrného napětí na výstupu zesilovače při otáčení potenciometrem.

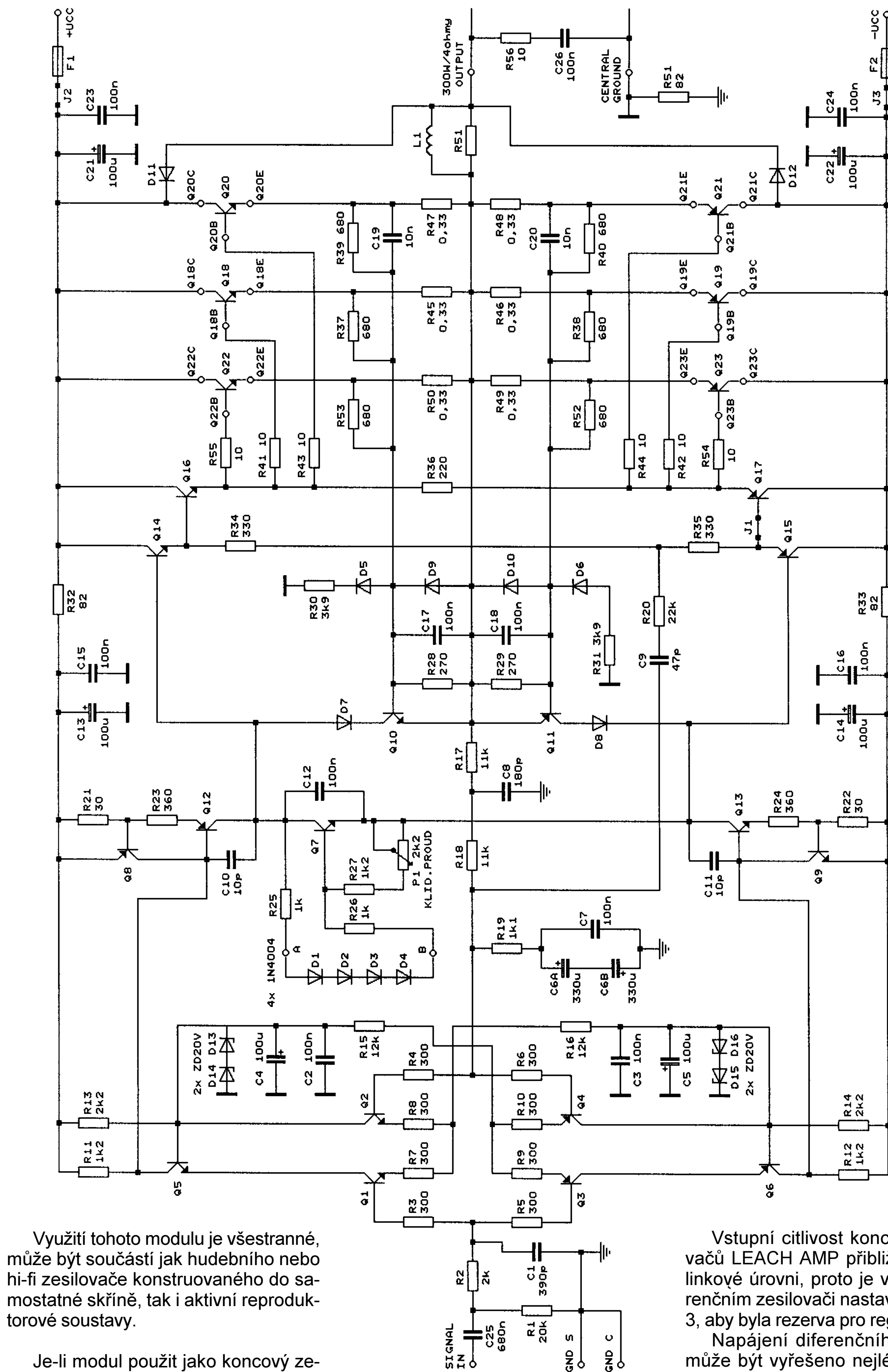
Obrazec plošných spojů je na obr. 96, rozmístění součástek na desce je na obr. 97. Vzhled zapojené desky ilustruje fotografie dole na této stránce.

Profesionálně vyrobené desky s plošnými spoji s potiskem a nepájivou maskou pro koncové zesilovače LEACH AMP 300 W/4 Ω i LEACH AMP 200 W/4 Ω dodává firma Elmechanik Vlastimil Srba, tel, 602 368 486. Tato firma dodává i sady vhodných vybíraných součástek a originálních koncových tranzistorů. Dodává i osazené a oživené desky koncových zesilovačů.

O výběru tranzistorů a dalších součástek pro tento zesilovač, o zapojování desky, o oživování (včetně nastavování klidového proudu) a o napájecím zdroji platí totéž, co bylo uvedeno v popisu předchozího zesilovače LEACH AMP 200 W/4 Ω v KE 6/2003 na stranách 32 až 39. Pracujte pozorně, koncových tranzistorů je tentokrát šest a nejsou nejlevnější.



Deska koncového zesilovače LEACH AMP 200 W/4 Ω. Zesilovač LEACH AMP 300 W/4 Ω má desku téměř stejnou, avšak o něco delší - ta má v pravé části celkem šest výkonových rezistorů a navíc dva držáky pojistek



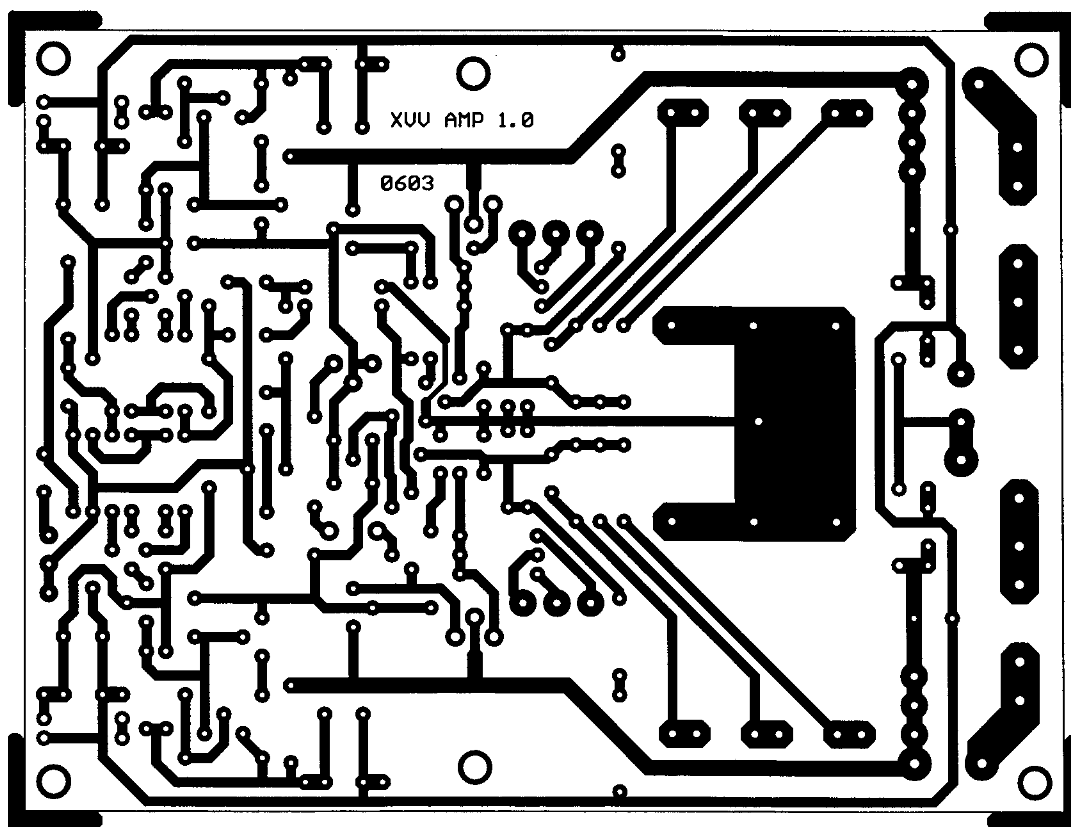
Obr. 95. Schéma koncového zesilovače LEACH AMP 300 W/5 Ω

Využití tohoto modulu je všestranné, může být součástí jak hudebního nebo hi-fi zesilovače konstruovaného do samostatné skříně, tak i aktivní reproduktorové soustavy.

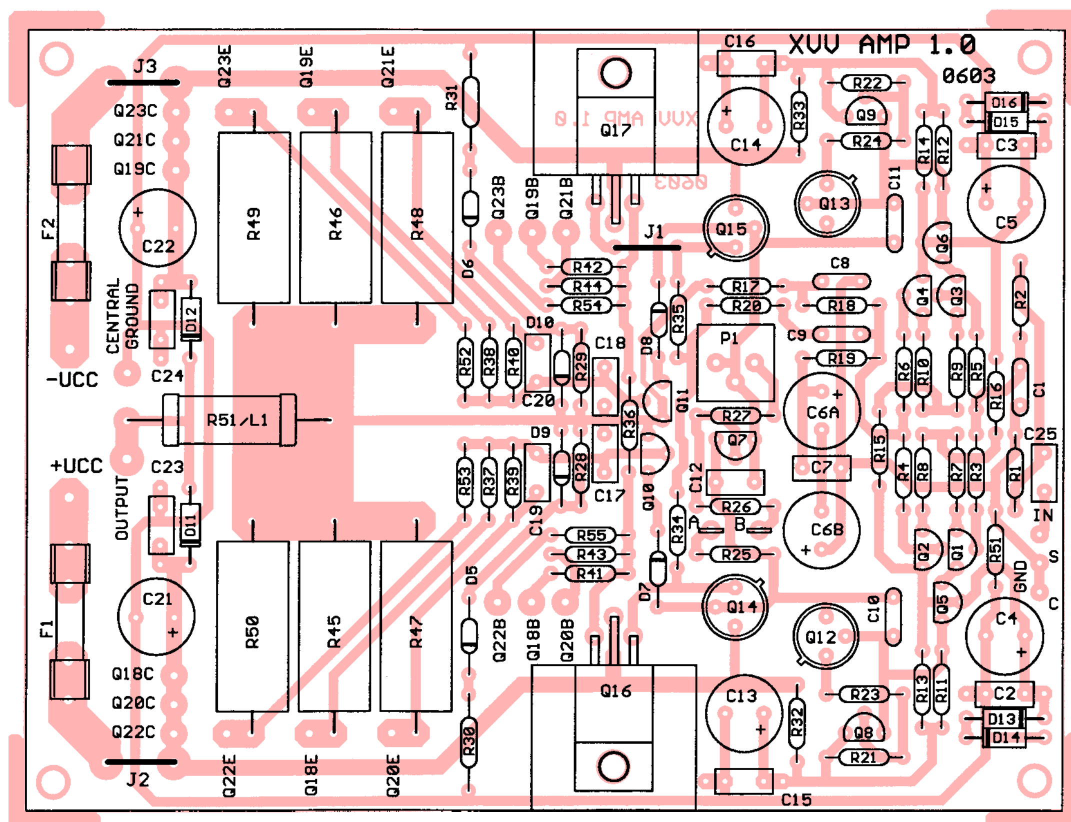
Je-li modul použit jako koncový zesilovač pro ozvučení nebo v aktivní reproduktorové soustavě, je nezbytné ho z hlediska zachování čistoty koncepce rozvodů nf signálu doplnit diferenčním zesilovačem, který bude přijímat rozváděný symetrizovaný nf signál a upravovat ho na nesymetrizovaný pro buzení modulu. Vhodné zapojení diferenčního zesilovače, převzaté z AR 10/2001, je na obr. 98. Pro vstup symetrizovaného nf signálu do zesilovače se vždy používají konektory (zásuvky) typu XLR, do reproduktorů se signál z výstupu zesilovače vyvádí přes konektory (zásuvky) SPEAKON.

Vstupní citlivost koncových zesilovačů LEACH AMP přibližně odpovídá linkové úrovni, proto je vhodné v diferenčním zesilovači nastavit zesílení asi 3, aby byla rezerva pro regulaci.

Napájení diferenčního zesilovače může být vyřešeno nejlépe ze samostatného vinutí síťového transformátoru. Diferenční zesilovač však lze napájet i přes stabilizátor podle obr. 99, na který se přivádí napájecí napětí z koncového zesilovače. Obvykle však mají výkonové zesilovače nucené chlazení, a tak je výhodnější další vinutí, které se využije i pro napájení ventilátoru.



Obr. 96. Obrazec plošných spojů koncového zesilovače LEACH AMP 300 W/4 Ω (měř.: 1 : 1). Desky s plošnými spoji s potiskem a nepájivou maskou dodává firma Elmechanik, viz text

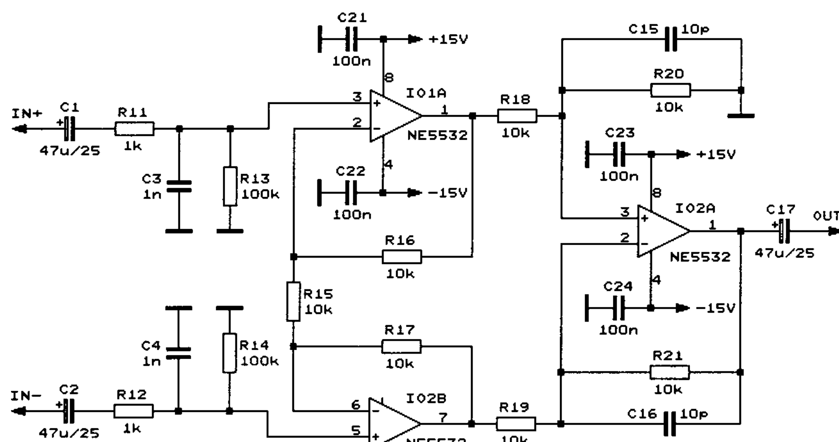


Obr. 97. Rozmístění součástek na desce koncového zesilovače LEACH AMP 300 W/4 Ω

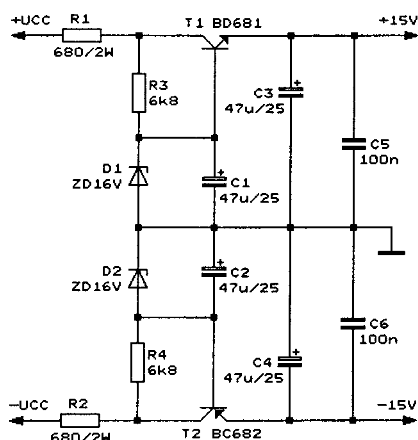
Dva moduly koncového zesilovače LEACH AMP 300 W/4 Ω lze zapojit i do můstku, takto dosažený výkon však zpracuje bez poškození jen málokterá reproduktorová soustava.

Můstkové zapojení využijeme spíš tehdy, když máme k dispozici reproduktorové soustavy s impedancí 15 Ω o velkém výkonu. Takové soustavy se používají spíše v profesionální praxi (nikoliv v hudební), většinou pro trvalé rozvody - ozvučení kin a podobných sálů. Málokdy se s nimi setkáme za rozumné peníze. Jejich zatižitelnost není ani tak velká jako u „muzikantských" reprosoustav. Např. zatižitelnost starých soustav z kin apod. bývá velmi malá - staré české soustavy pro kina s reproduktory 38 cm (15") a tlakovými výškovými reproduktory měly zatižitelnost 15 W, ve větším provedení se čtyřmi reproduktory 38 cm a třemi tlakovými reproduktory měly 50 W. Můstkový zesilovač dá dvojnásobné výstupní napětí, takže pozor na poškození soustav. Můstkovým zesilovačem by bylo možné pohodlně budit přímo i rozvody 100 V, používané v rozsáhlejších instalacích.

Jako invertor pro koncové zesilovače v můstkovém zapojení může sloužit některé ze známých zapojení, třeba s operačními zesilovači.



Obr. 98. Diferenční zesilovač pro symetrický linkový vstup



Obr. 99. Stabilizátor pro napájení diferenčního zesilovače napětím z koncového stupně

Místo předřazení invertoru před neinvertující koncový zesilovač lze také změnit samotný koncový zesilovač v invertující tím, že jej budíme do vnitřního bodu, který se chová jako invertující vstup. Je to bod, kde se sbíhají rezistory R19, R18, R4 a R6 - tedy invertující vstup diferenčního stupně. Přes předřadný rezistor, jehož odpor se musí přesně nastavit tak, aby zesílení koncového zesilovače bylo -1, se do tohoto bodu přivede napětí z výstupu pro reproduktor druhého zesilovače můstku, a původní neinvertující vstup se střídavě uzemní. To je využitelné samozřejmě u obou verzí zesilovače - 200 i 300 W.

Příklady konstrukcí PA zesilovačů, které využívají popsané moduly 200 a 300 W, jsou na obr. 100 a obr. 101.

Celkové schéma jednotlivých zesilovačů asi nemá smysl uvádět, jedná se jen o jednoduše pospojované koncové moduly, diferenční vstupní linkové zesilovače, napájecí zdroj, indikátory vybuzení a obvody pro spínání a napájení ventilátorů, popř. obvody limitéru.

Mechanické řešení je patrné z obrázků a mojí snahou bylo udělat ho co nejjednodušší.

Seznam součástek

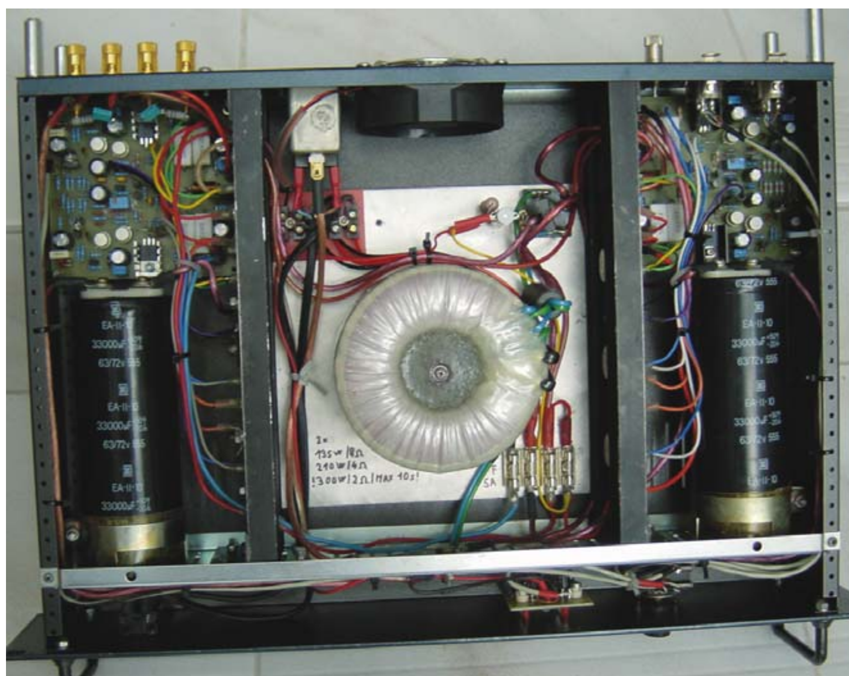
(zesilovač z obr. 95)

R1	20 kΩ
R2	2 kΩ
R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10	300 Ω
R11, R12, R27	1,2 kΩ
R13, R14	2,2 kΩ
R15, R16	12 kΩ
R17, R18	11 kΩ
R19	1,1 kΩ
R20	22 kΩ
R21, R22	30 Ω
R23, R24	360 Ω
R25, R26	1 kΩ
R28, R29	270 Ω
R30, R31	3,9 kΩ
R32, R33	82 Ω
R34, R35	330 Ω
R36	220 Ω
R37, R38, R39, R40, R52, R53	680 Ω
R41, R42, R43, R44, R54, R55	10 Ω
R45, R46, R47, R48, R49, R50	0,33 Ω/5 W, drátový
R56	10 Ω/2 W, vrstvový nebo drátový, ne metaloxidový
P1	2,2 kΩ, trimr desetiotáčkový, popř. jednootáčkový
C1	390 pF, keramický
C2, C3, C15, C16, C23, C24, C26	0,1 µF/100 V, fóliový
C7, C12, C17, C18	0,1 µF/50 V, keramický nebo fóliový
C4, C5, C13, C14, C21, C22	100 nebo 220 µF/100 V, radiální
C6A, C6B	330 µF/63 V nebo 220 µF/50 V bipolární
C8	180 pF, keramický
C9	47 pF, keramický
C10, C11	10 pF, keramický
C19, C20	10 nF/50 V, keramický nebo fóliový
C25	680 nF/63 V, fóliový
L1	tlumivka, 12 závitů drátem CuL o průměru 1,5 mm, navinuto na větším vrstvovém rezistoru o odporu 10 až 22 Ω (R51), průměr vinutí 12 až 15 mm.
D1, D2, D3, D4, D11, D12	1N4004 až 1N4007
D5, D6, D7, D8, D9, D10	1N4148
D13, D214, D15, D16	Zenerova dioda 20 V/min. 0,8 W, doporučuji vybrat na shodné Zenerovo napětí
Q1, Q2, Q5, Q7, Q9, Q10	MPS8099 nebo MPSA 06 - NPN, 80 V; 0,2 A
Q3, Q4, Q6, Q8, Q11	MPS8599 nebo MPSA56 - PNP, 80 V; 0,2 A
Q13, Q14	2N3440 , 2N 3439 - NPN, >250 V, 1 A, 1 W
Q12, Q15	2N5416, 2N5415 - PNP, >250 V, 1 A, 1 W
Q16	MJE 15030 - NPN, 150 V, 8 A, 50 W
Q17	MJE 150301 - PNP, 150 V, 8 A, 50 W
Q18, Q20, Q22	MJ15003 - NPN, 140 V, 20 A, 250 W
Q19, Q21, Q23	MJ15004 - PNP, 140 V, 20 A, 250 W
F1, F2	pojistky F5A až F8A (F = rychlé), podle impedance reproduktoru a požadovaného výkonu

Pozn.: Všechny rezistory jsou miniaturní s kovovou vrstvou (rozměr 0207) se zatižitelností 0,5 W. Není-li udáno jinak, mají toleranci 5 % nebo lepší - větší odchylka odporu znamená zbytečné stejnosměrné klidové napětí na výstupu zesilovače. Proto jsou v důležitých bodech předepsány odpory z řady E24. Lze je samozřejmě nahradit hodnotami řady E12. Odpory rezistorů je potřeba kontrolovat - obzvláště v symetrických obvodech.



Obr. 100. Zadní stěna PA zesilovače o výkonu 2x 300 W. Vlevo jsou dva výstupy pro reproduktory (zásuvky Speakon), vpravo jsou dva vstupy - symetrické (zásuvky XLR) a nesymetrické (zásuvky JACK). Uprostřed je zleva síťová přístrojová vidlice, ventilátor, síťová pojistka a síťový spínač



Obr. 101. PA zesilovač 2x 200 W

Rezistory R45 až R48 nepoužívejte metaloxidového typu - proudovými impulsy se zvětšuje jejich odpor!

Tranzistory pokud možno párovat. Neexistuje solidní náhrada za Q12 až Q15. U tranzistorů Q1 až Q11 je možná náhrada BC546/556, ale mají jinak vytvarované vývody.

Limitéry - obvody pro omezení výstupního napětí

Při používání zesilovačů v hudební praxi se může vyskytovat signál, který má ve svém průběhu náhodné špičky velké amplitudy, jimiž se přebudí i „sebesilnější“ koncový zesilovač. Toto přebuzení má u tranzistorových koncových zesilovačů za následek ostré ořezání signálu (CLIPPING).

Aby se uvedený rušivý jev vyloučil, je vhodné řetězec doplnit obvodem, který špičky v signálu potlačí.

Existuje celá řada továrních výrobků pro úpravu dynamiky signálu. Jsou to např. limitéry v rackovém modulovém provedení, které bývají doplněny kompresory pro snížení dynamiky signálu a expandéry pro zvýšení dynamiky, obvody „gate” pro vyloučení přenosu signálů nižší než nastavené úrovně apod. Příklad takového limitéru/kompresoru je na obr. 102.

Profesionální stereofonní dynamické procesory obsahují ještě někdy vazbu z jednoho kanálu do druhého, aby se při potlačení signálu v jednom kanálu současně potlačil i zisk druhého kanálu a tím se zabránilo posuvu stereofonní báze.

Při nasazení našich zesilovačů v amatérském a poloprofesionálním provozu to není potřeba a v praxi se to nijak neprojeví - limitace nastává výjimečně. Pokud by někdo tuhle funkci vyžadoval, není vůbec problém to třeba dalšími dvěma optočleny (které jsou popsány dále) vyřešit. Vstupy (LED optočlenu) se zapojí sériově a výstupy (fotoodpory) paralelně, vždy křížem.

Profesionální limitéry obsahují někdy také zpožďovací obvod signálu do koncového stupně, před který je zapojen limitér, který tak může vlastně reagovat „v předstihu”. Takové zařízení však má místo spíše ve studiích a nehodí se pro naše živé hraní.

Cena těchto přístrojů je dost vysoká, obzvláště tehdy, obsahují-li elektronky. Proto jsem se snažil tyto tovární výrobky nahradit něčím mnohem levnějším a jednodušším. To se podařilo, pokud ovšem nečekáme špičkové řešení s mnoha možnostmi.

Nás bude zajímat z dynamických procesorů hlavně limitér. Ten má za úkol včas omezit buzení koncového stupně, blíží-li se výstup bodu limitace.

Bod limitace lze určit např. podle úbytku napětí na koncových tranzistorech. Snímá se okamžitý rozdíl mezi výstupním a napájecím napětím. V případě, když se rozdíl napětí blíží saturačnímu napětí tranzistoru a úbytku na emitorovém obvodu, je dán povel ke zmenšení vstupního napětí změnou zisku předzesilovače. Ke změně zisku při nasazení limitéru lze použít tranzistor FET, bipolární tranzistor, diodu, operační zesilovač s řízeným ziskem nebo optočlen.

Optočlen využívají např. limitéry popsané v AR 10/2001 na straně 2.

Optočlen pro limitér je složen z LED a fotorezistoru v jednom pouzdru. Takový optočlen nejenže odděluje výstupní část od vstupní, ale jelikož pracuje s lineárním fotorezistorem, jeho zapojení je snadné - fotorezistor zapojíme do zpětné vazby zesilovače. Navíc časové konstanty takového optočlenu jsou velmi vhodné pro konstrukci limitéru. Náběhová konstanta regulace by měla být krátká, aby limitér zareagoval pokud možno rychle na špičky, odběhová pak musí být delší, aby nebyl zkreslen signál v oblasti nízkých kmitočtů. Pokud by však byla odběhová časová konstanta příliš dlouhá, slyšitelně by se ovlivňovala dynamika - signál by „dýchal”.

Závislost odporu fotorezistoru na proudu LED musí být pokud možno lineární a navíc fotorezistor nesmí mít odpor závislý na napětí. Takové optočleny byly dost těžko dostupné a drahé (VACTROL).

V poslední době si však lze obstarat vhodné velice kvalitní a cenově dostupné optočleny 3WK 163 41 i u nás. Lze je objednat např. e-mailem na adrese *elix@elix.cz* . Tyto optočleny mají zaručenou linearitu a výrobce udává i zkreslení řádu desetin procenta v celém pracovním rozsahu. Časové konstanty jsou vynikající - náběh 1,5 ms a doběh 20 ms, lze je tedy snadno dále upravit kondenzátory v obvodu limitéru. Uvedený optočlen je tudíž ideálním základem limitéru.

Vzhled optočlenu 3WK 163 41 je patrný z obr. 103, technické parametry optočlenů řady 3WK 163 .. jsou uvedené v tab. 1. Výrobcem doporučené zapojení limitéru s optočlenem z řady 3WK 163 .. je na obr. 104.

Limitér podle obr. 104 jsem ověřoval, ovšem, jak se dalo podle koncepce zapojení očekávat, časové konstanty jsou nevyhovující - doba náběhu je příliš dlouhá. Integrační kondenzátor C2 určující proud diodou LED optočlenu se nabíjí z výstupu operačního usměrňovače IO1B přes rezistor R6 pomalu, takže reakce na špičky signálu je opožděná a špičky signálu jsou při náběhu limitace ostře ořezávány (CLIPPING). Odpor rezistoru R6, přes který se oběma usměrněnými půlvlnami nf signálu nabíjí kondenzátor C2, by měl být co nejmenší, aby se konden-



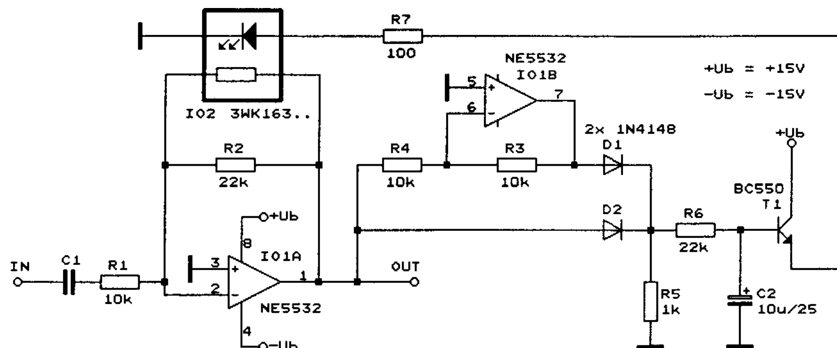
Obr. 102. Dynamický procesor od firmy BEHRINGER



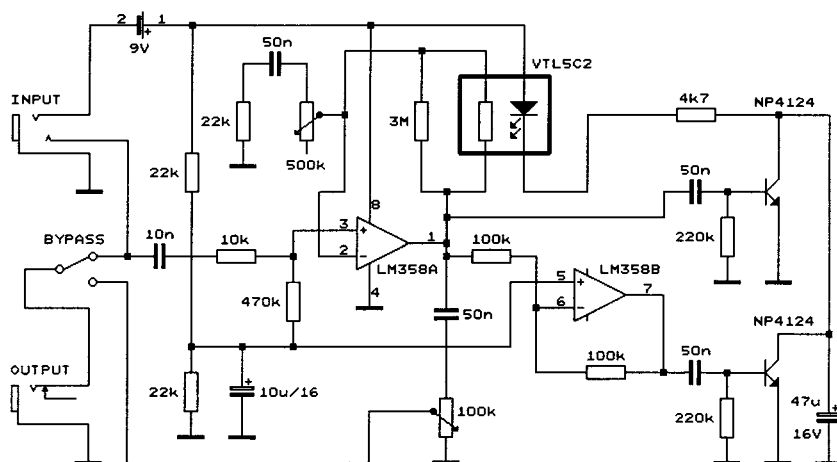
Obr. 103. Optočlen 3WK 163 41

Tab. 1. Parametry optočlenů s fotorezistorem - typické hodnoty při teplotě 25 °C. Všechny uvedené optočleny mají kategorii klimatické odolnosti 40/70/04

Typ	U_{IO} [kV AC]	R_{IO} [Ω]	C_{IO} [pF]	Hmot. [g]	$U_{F\,LED}$ [V]	$U_{R\,LED}$ [V]	$R(16)_{on}$ [kΩ]	$R(1)_{on}$ [kΩ]	R_{off} [MΩ]	P_{max} [mW]	U_{max} [V]	t_{ON} [ms]	t_{OFF} [ms]	THD [%]	α [%/K]
3WK 163 10	≥ 0,5	≥ 10^8	≤ 1,5	0,9	≤ 2,5	> 5	0,5 až 2	2,5	≥ 0,5	50	100	2	500	-	0,5
3WK 163 40	≥ 2,5	≥ 10^{10}	≤ 0,5	1,5	≤ 2,5	> 5	≤ 0,5		≥ 100	150	150	0,4	0,5	-	-
3WK 163 41	≥ 2,5	≥ 10^{10}	≤ 0,5	1,5	≤ 2,8	> 5	0,5 až 2	3	≥ 10	150	150	1,5	20	0,05	1



Obr. 104. Výrobcem doporučené zapojení limitéru s optočlenem z řady 3WK 163 ..



Obr. 105. Limitér s optočlenem s fotorezistorem, zkonstruovaný jako „šlapka"

zátor nabíjel co nejrychleji a ostrá limitace trvala co nejkratší dobu. Pokud by však časová konstanta *R6, C2* byla příliš malá, byla by krátká i doba odběhu a tím by se zase neúnosně zvětšilo zkreslení na nízkých kmitočtech. Proto není zapojení podle obr. 104 vhodné pro naše hudební účely.

Další příklad zapojení limitéru (s optočlenem s fotorezistorem), který lze zapojit jako „šlapku" za regulátor hlasitosti mezi předzesilovač a koncový zesilovač, je na obr. 105. Avšak opět se i u tohoto zapojení obávám o nedostatečnou rychlost náběhu limitace. I v tomto zapojení lze použít optočlen dostupného typu 3WK 163 41. Ovšem i v tomto limitéru, stejně jako v limitéru na obr. 104, prochází signál operačním zesilovačem.

Limitér pro koncový zesilovač

Mojí snahou při konstrukci všech zesilovačů je omezit počet stupňů a hlavně polovodičových součástek, přes které je veden nf signál. Snažil jsem se proto zaintegrovat zapojení limitéru do koncového zesilovače, a to se podařilo.

Navrhl jsem limitér pro koncové zesilovače, jehož schéma je na obr. 106. Tento limitér má optimální časové konstanty, jeho charakteristika limitace není pravoúhle tvrdá, ale zaobleně měkká, neovlivňuje vůbec signál pod prahem nasazení limitace a především - jeho zapojení je velmi jednoduché.

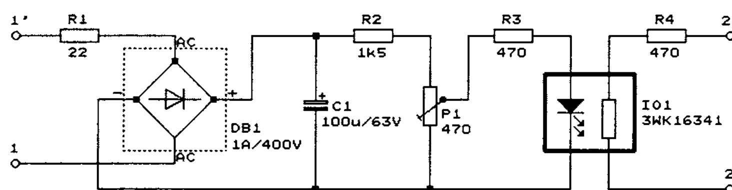
Popis funkce a konstrukce

Vstup limitéru (vývody *1* a *1'*) je zapojen (s libovolnou polaritou) mezi zem (CENTRAL GROUND) a výstup (OUTPUT) koncového zesilovače. Přes ochranný rezistor R1 a můstkový usměrňovač DB1 se „tvrdým" napětím z výstupu zesilovače nabíjí kondenzátor C1. Z něj se přes odporový dělič s trimrem P1 napájí přes sériový rezistor R3 LED optočlenu. Protože výstupní odpor výkonového zesilovače je malý, ochranný rezistor R1 může mít malý odpor (i nulový, ale je to zbytečné) a rozkmit napětí na výstupu zesilovače je velký, nabíjí se kondenzátor C1 rychle a náběhová časová konstanta limitéru je malá. Nabitý filtrační a časovací kondenzátor C1 se vybíjí přes dělič ze součástek R2, P1 s vhodně zvolenými odpory a přes R3 a LED v optočlenu 3WK 163 41. Trimrem P1 se nastavuje velikost napětí nf signálu na výstupu koncového zesilovače, při které se začíná rozsvěcet LED a zmenšovat odpor fotorezistoru v optočlenu, tj. bod, ve kterém začne působit limitace.

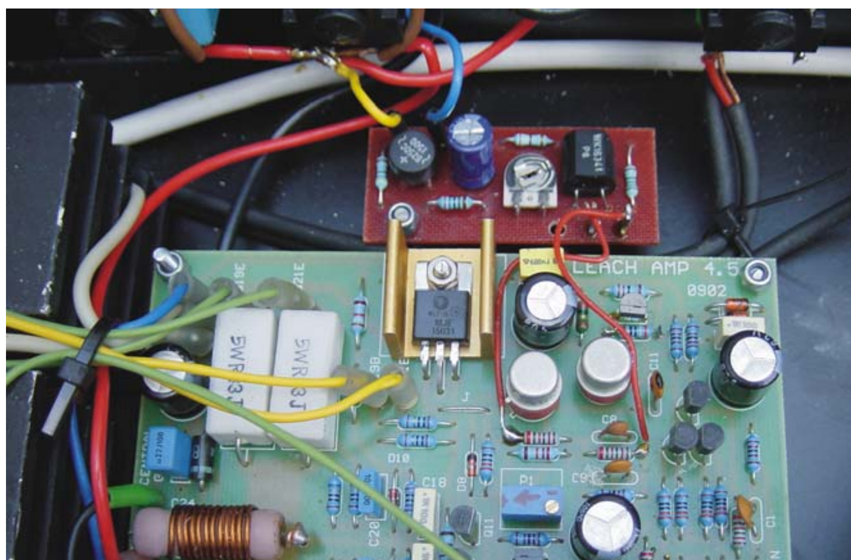
Výstup optočlenu (tj. fotorezistor v IO1 spojený v sérii s rezistorem R4 upravujícím zlom charakteristiky a izolujícím kapacity) je připojen paralelně k sériové kombinaci zpětnovazebních rezistorů R17 a R18 v koncovém zesilovači (viz obr. 95). Vývod *2'* limitéru je zapojen do společného bodu rezistorů R19, R18, R6 a R4, vývod *2* limitéru je připojen k výstupu zesilovače před člen *LR*, tj. např. do bodu, do kterého vedou propojené emitory tranzistorů Q10 a Q11. Přípojné body jsou patrné z fotografie na obr. 107. Takto je paralelně k rezistorům R17 a R18 ve zpětnovazebním děliči připojen fotorezistor, jehož klidový odpor řádu desítek MΩ se může zmenšit až na stovky Ω i méně při průtoku proudu LED.

Při určitém vybuzení koncového stupně překročí napětí na běžci trimru P1 prahové napětí LED (asi 1,5 V) a odpor fotoodporu optočlenu IO1 se začne zmenšovat. Tím se začne zvětšovat stupeň zpětné vazby a v důsledku toho zmenšovat zesílení koncového zesilovače. Principiální průběh přenosové charakteristiky zesilovače s limitérem je na obr. 108.

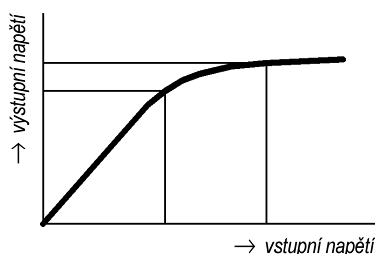
Fotorezistor by bylo samozřejmě možné zapojit i na vstup zesilovače jako součást vstupního odporového děliče, ale zapojení ve zpětné vazbě se plně osvědčilo.



Obr. 106. Limitér s optočlenem 3WK 163 41 pro koncové zesilovače



Obr. 107. Přípojné body v koncovém zesilovači LEACH AMP pro limitér s optočlenem 3WK 163 41



Obr. 108. Přenosová charakteristika koncového zesilovače s limitérem

Limitér výrazným způsobem zvětšuje akustickou účinnost signálu z koncového zesilovače - signál není ostře limitován ani ve špičkách a celková subjektivní hlasitost je při daném výkonu mnohem větší.

Limitérem doporučuji vybavit jak nástrojové zesilovače, tak i výkonové zesilovače pro ozvučení.

Limitér je postaven na malé desce s jednostrannými plošnými spoji. Obrazec spojů je na obr. 109, rozmístění součástek na destičce je na obr. 110.

Zapojenou desku limitéru upevníme do skříně zesilovače do bezprostřední blízkosti příslušného modulu koncového zesilovače.

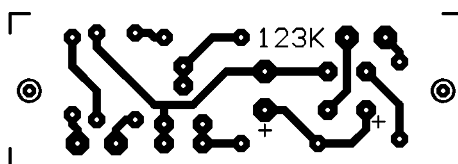
Nastavení limitéru

Limitér připojte do odpovídajících bodů předem oživeného modulu koncového zesilovače LEACH AMP 200 nebo 300 W. Běžec trimru P1 na destičce limitéru vytočte nejprve k zemnímu konci, aby limitér vůbec nasazoval. Nyní připojte k zesilovači jmenovitou zátěž a vybuďte ho vstupním signálem o kmitočtu asi 1 kHz až těsně k limitaci. Pak otáčejte trimrem P1 do té doby, než se začne otevírat LED v optočlenu a výstupní signál zesilovače se začne zmenšovat pod úroveň limitace. Nastavte trimr ještě o něco dále, aby omezená (zmenšená) úroveň signálu byla asi 3 dB pod úrovní limitace, popř. podle potřeby ještě níž, máme-li např. reproduktory s menší zatížitelností.

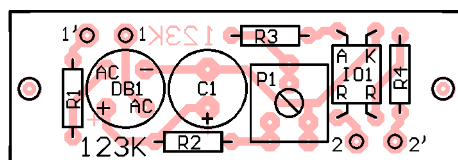
Po tomto nastavení se při dalším zvětšování síly vstupního signálu zvětšuje výstupní napětí zesilovače mnohem pomaleji, než by odpovídalo stavu bez limitéru.

Pro hudební účely není vhodné konstruovat limitér s úplně „pravoúhlou" limitací při zvětšování signálu. To by se hodilo spíše pro omezení zdvihu FM vysílačů apod. Popsaný limitér má charakteristiku a časové odezvy naprosto vyhovující.

Trimr P1 limitéru lze vyvést i na zadní panel skříně zesilovače a limitační charakteristiku přizpůsobovat zvenku podle potřeby. Limitér lze samozřejmě i vypínat vnějším spínačem - třeba odpojením vstupu. Také lze indikovat stupeň limitace, a to externí LED zapojenou do série s LED optočlenu (pak se ovšem musí znovu nastavit trimr P1). Protože proud LED optočlenu i přídavné indikační LED je poměrně malý (řádu mA), musí být přídavná LED s velkou svítivostí. Indikační LED může být umístěna na předním panelu zesilovače a její rozsvěcení může být signálem ke „krocení" hudebníka.



Obr. 109. Obrazec plošných spojů limitéru s optočlenem 3WK 163 41 pro koncové zesilovače (měř.: 1 : 1)



Obr. 110. Rozmístění součástek na desce limitéru s optočlenem 3WK 163 41 pro koncové zesilovače

Seznam součástek
(limitér z obr. 106)

R1	22 Ω/1 %, metal., 0207
R2	1,5 kΩ/1 %, metal., 0207
R3, R4	470 Ω/1 %, metal., 0207
P1	470 (500) Ω, trimr PT10V
C1	100 µF/63 V, radiální
DB1	můstkový usměrňovač 1 A/400 V
IO1	3WK 163 41

deska s plošnými spoji č.: 123K

Malý kytarový dvoukanálový zesilovač 100 W

Popis zapojení

Tento zesilovač je určen k postavení na reproduktorovou soustavu - jedná se tedy o kytarovou „hlavu".

Obvodově je zesilovač řešen opět hybridně - vstupy jsou elektronkové, osazené celkem čtyřmi ECC 83, a koncový zesilovač je tranzistorový. K impedančnímu přizpůsobení mezi předzesilovači a koncovým zesilovačem je použit tranzistor J-FET.

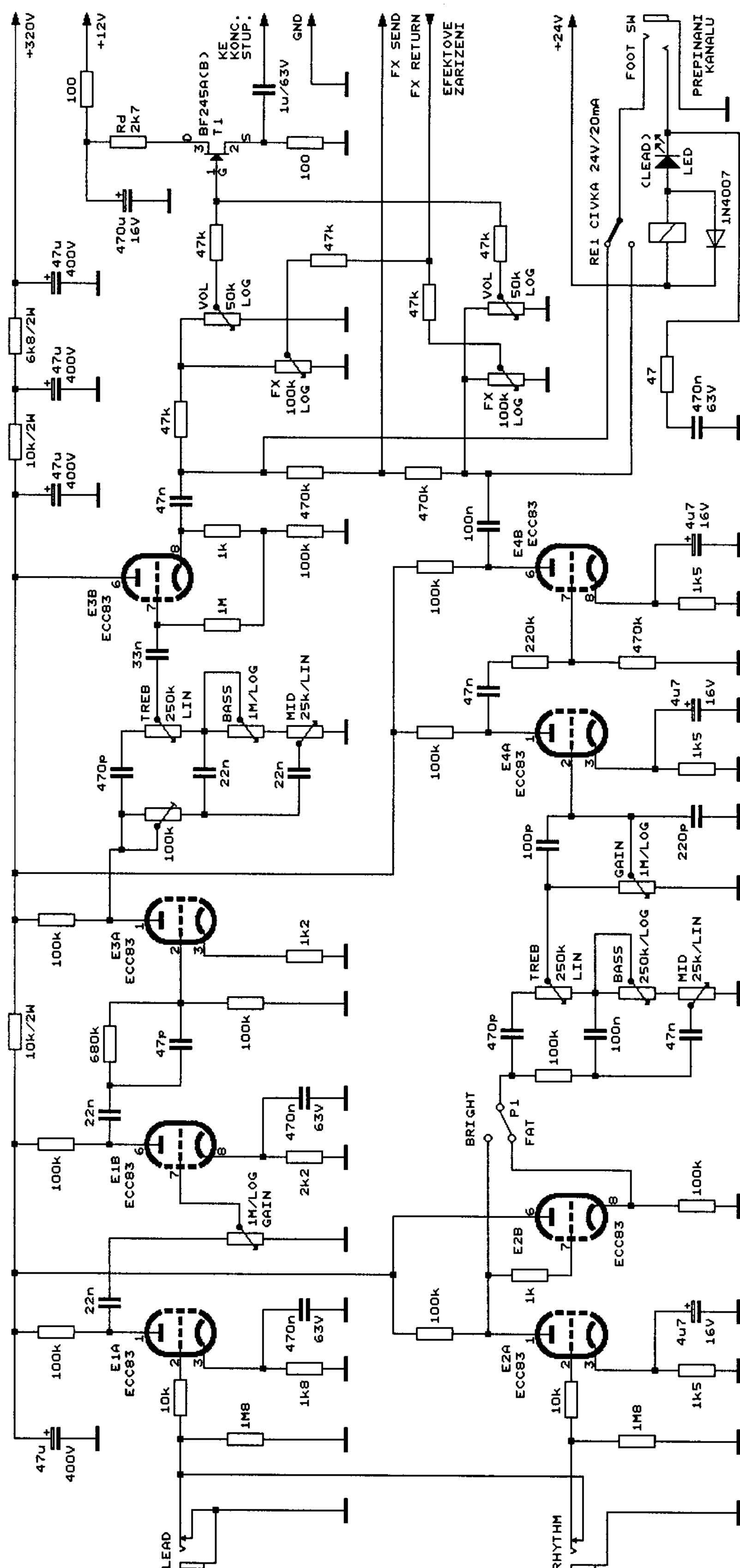
Zesilovač má dva zcela samostatné předzesilovače (kanály) se samostatnými kmitočtovými korekcemi (TREB, MID, BASS) a regulacemi zisku (GAIN), hlasitosti (VOL) a efektu (FX). Oba předzesilovače lze vtipným způsobem kombinovat a přepínat pomocí kontaktů na vstupních konektorech (LEAD, RHYTHM) a nožním spínačem (připojeným ke konektoru FOOT SW). Schéma předzesilovačů a obvodu pro přizpůsobení impedance je na obr. 111.

Pokud není zapojen nožní spínač pro přepínání vstupů (šlapka), jsou v činnosti současně oba předzesilovače a jejich signál je smíchán za výstupními regulátory hlasitosti.

Je-li připojena jen jedna kytara, jsou předzesilovače propojeny paralelně a do koncového zesilovače lze kombinovat signály jednoho i druhého kanálu nebo využít jen jeden z nich a druhý stáhnout regulátorem hlasitosti.

Pokud jsou připojeny dvě kytary a využity oba předzesilovače (např. při kombinaci akustické a elektrické kytary), jsou vstupy předzesilovačů navzájem oddělené a obě kytary lze provozovat současně, přitom lze samostatně nastavovat korekce, hlasitosti a vybuzení kanálů.

Pokud připojíme nožní spínač a zapojíme do jednoho ze vstupů jen jednu kytaru, uvede se do činnosti relé RE1 ovládané tímto přepínačem, a to podle potřeby kytaristy zařazuje jednotlivě jeden nebo druhý nezávisle nastavený



Obr. 111. Předzesilovače a obvod pro přizpůsobení impedance v malém kytarovém dvoukanálovém zesilovači 100 W

předzesilovač. Tak lze kombinovat např. styl LEAD/ RHYTM z jedné kytary.

Každý z předzesilovačů je zapojen odlišně. Kanál určený primárně pro hru LEAD (s elektronkami E1 a E3) je snáze přebuditelný, neboť pasivní kmitočtové korekce (TREB, MID, BASS) jsou zapojené až za třetí zesilovací stupeň. Tři stupně před korekcemi mají celkově velké zesílení a signál při nastavení potenciometru GAIN na vyšší úroveň je již omezován, samozřejmě díky elektronkám ECC83, tak, jak má být omezován. Mezi druhým a třetím stupněm je kmitočtově kompenzovaný odporový dělič, který zajišťuje symetričtější tvar limitovaného signálu a upravuje vybuzení třetího stupně. Korekce zpracovávají zkreslený signál a regulují účinněji obsah v zesilovači nově vzniklých harmonických složek. Za korekcemi je už jen katodový sledovač (E3B), který impedančně přizpůsobuje korekční obvod k regulátoru hlasitosti a napěťově nezesiluje.

Druhý kanál (RHYTHM) (s elektronkami E2 a E4) má naopak před korekcemi jen jeden zesilovací stupeň. Protože pasivní „kytarový" korekční obvod má značný útlum, je tento kanál přebuzen až při mnohem vyšší úrovni signálu. Korekce mohou být podle přání napájené nf signálem (přes přepínač P1) buď přímo z anody E2A (charakter zvuku „BRIGHT"), nebo z vloženého katodového sledovače E2B (zvuk „FAT"). Změna charakteru zvuku při přepnutí přepínače P1 je kupodivu spíš slyšitelná než měřitelná. Za korekcemi následují další dva zesilovací stupně a regulátor hlasitosti.

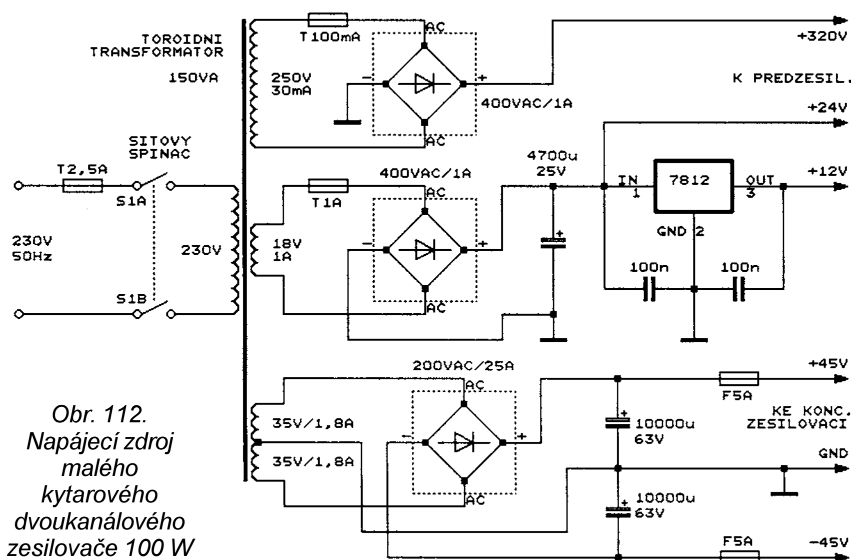
Signál z výstupů obou předzesilovačů se vede do regulátorů hlasitosti (VOL) a také se odbočuje a směšuje na společný výstup FX SEND pro externí efektové zařízení (dozvuk).

Pokud je použit nožní přepínač, jsou pomocí kontaktů relé RE1 střídavě uzemňovány výstupy jednotlivých předzesilovačů a díky tomu je v činnosti vždy jen jeden kanál. Zároveň se blokuje i příslušný signál do efektového výstupu (FX SEND). Stavy zesilovače indikuje LED zapojená do série s cívkou relé (a s nožním spínačem).

Výstupy z obou regulátorů hlasitosti a návratový signál z efektu (FX RETURN) jsou sloučeny a přivedeny na vstup impedančního oddělovače s tranzistorem J-FET (T1). Ten upravuje výstupní impedance regulátorů hlasitosti a směšovače na impedanci vhodnou k buzení koncového zesilovače a navíc napěťově asi 3x zesiluje, čímž vyrovnává úbytek napětí po směšování.

Jako koncový zesilovač je použit již známý modul LEACH AMP 200 W/4 Ω (popsaný v předchozím dílu článku v KE 6/2003), tentokrát napájený menším napětím (2x 45 V). Síťový transformátor je poměrně „měkký" a malý (150 W), z toho důvodu výstupní nf výkon nepřestoupí 150 W na zatěžovací impedanci 4 Ω. I takový výkon je u zesilovače připojeného na účinnou reproduktorovou soustavu s účinnými typicky kytarovými reproduktory zbytečně velký. Vytváří rezervu ve špičkách, avšak trvalý maximální výkon je omezen připojeným limitérem s optočlenem, bod zlomu je nastaven asi na 80 W. Od tohoto bodu se výkon zvětšuje mnohem pomaleji, než by odpovídalo vstupnímu napětí, křivka je ideálně zaoblená. Výkonový zesilovač je tudíž využíván s velkou rezervou a odměnou je stoprocentní spolehlivost, nutná u těchto přístrojů. Limitér s optočlenem (včetně jeho připojení ke koncovému zesilovači) je popsán v tomto čísle časopisu na str. 8.

Zvuk popisovaného zesilovače je kytaristy hodnocen jako vynikající. Není třeba se nikterak bát „tranzistorového" zvuku, nebojí se ho ani Jim Mar-



Obr. 112. Napájecí zdroj malého kytarového dvoukanálového zesilovače 100 W

shall u nejnovějšího zesilovače „MODE FOUR" s tranzistorovým koncovým stupněm a elektronkovými vstupy.

Napájecí zdroj, jehož schéma je na obr. 112, je navržen bez nějakých zvláštností. Stabilizované napětí +12 V je určené pro žhavení elektronek, žhavicí obvody nejsou pro jednoduchost na schématu na obr. 111 nakresleny. Za zmínku stojí snad jen dodatečná filtrace napájecího napětí +12 V pro stupeň s tranzistorem J-FET. Tak bylo dosaženo vynikajícího odstupu signálu - při „stažených" potenciometrech hlasitosti je na výstupu pro reproduktor jen asi 0,6 mV rušivého napětí.

Zesilovač je naprosto stabilní a i při všech potenciometrech „vytočených" na maximum jen příjemně šumí.

Mechanická koncepce

Zesilovač je poměrně malý a přitom je elektricky složitější, než předcházející konstrukce, proto je potřeba pracovat pečlivě.

Šasi ve tvaru obráceného „U" je sešroubováno ze dvou duralových plechů a celou třetí zadní stěnu tvoří chladič - tažený žebrovaný hliníkový profil o výšce 80 mm. Na chladiči jsou umístěné čtyři koncové tranzistory a čtyři diody pro snímání oteplení chladiče. Pouzdra tranzistorů jsou zvenku zakryta páskem laminátu, aby nebylo možné náhodně zkratovat napájecí napětí. Uvnitř šasi jsou umístěné všechny součástky kromě filtračních kondenzátorů koncového zesilovače, elektronek a síťového transformátoru, které jsou umístěné na vrchní straně šasi (obr. 113). Filtrační kondenzátory o kapacitě 10 000 μF jsou uchycené v plechových držácích.

Součástky zdrojů a stabilizátoru žhavení (usměrňovací diody, filtrační rezistory, kondenzátory filtrace anodového napětí a pojistky) jsou umístěné na liště opatřené pájecími očky. Stabilizátor žhavení i můstkový usměrňovač jsou připevněné přímo na šasi a tím jsou dostatečně chlazené.

Ostatní součástky jsou připájené přímo na vývody potenciometrů, konektorů a elektronkových objímek. Uzemněné vývody součástek jsou připájené na zemnicí vodič, který je tvořen páskem kuprextitu. Pásek je veden mezi objímkami elektronek obou kanálů a má fólii spojenou se šasi jen v bodě poblíž stabilizátoru žhavicího napětí, ve kterém je také centrální zemnicí bod napájení. Důležité je dodržet správné zásady zemnění! Pohled pod šasi je na obr. 114 a obr. 115.

Miniaturní relé RE1 je přilepeno polyuretanovým lepidlem poblíž konektoru pro nožní spínač, pod matici konektoru je uchycena destička s tranzistorem T1 (J-FET). Matice potenciometrů, konektorů, síťového spínače napájení a objímky LED kryje panel nastříkaný černou práškovou barvou.

Páčkový přepínač FAT/BRIGHT (P1) je vestavěn v zadní stěně (v chladiči), stejně jako zásuvka JACK 6,3 mm pro reproduktor, společná stereofonní zásuvka JACK 6,3 mm pro vstup i výstup efektového zařízení a síťová přístrojová vidlice s integrovanou pojistkou.

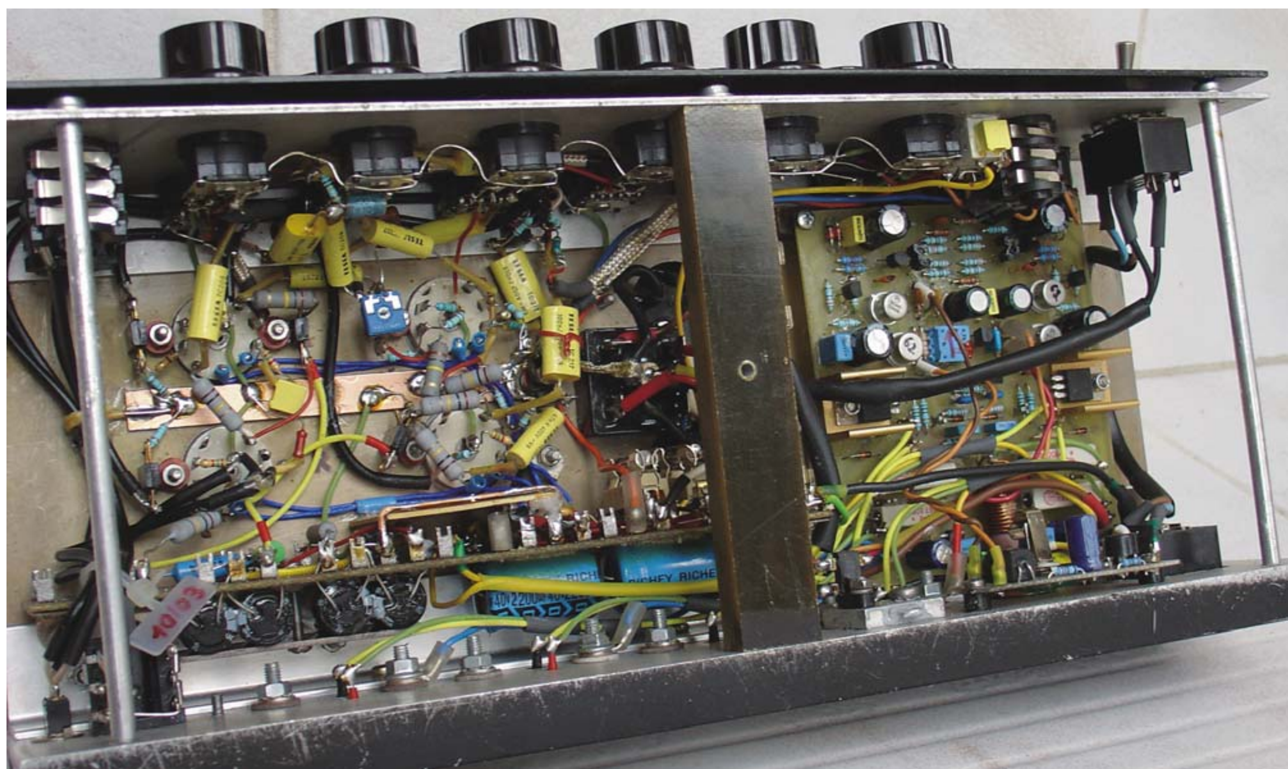
Vnitřní přívody ke koncovému zesilovači, konektorům, tranzistorům atd. vyšly velice krátké, navržená koncepce se osvědčila a zesilovač se stal vzorem pro další nejen elektricky, ale i mechanicky věrné kopie. Mřížka nad předním panelem je ohnuta z dírkovaného leštěného nerezového plechu a je přišroubována mezi přední panel a šasi. Je ohnuta dozadu nad elektronky a stíní je, elektronky jsou děrami v mřížce dobře vidět.



Obr. 113. Malý kytarový dvoukanálový zesilovač 100 W



Obr. 114. V zesilovači 100 W jsou na chladicí profil připevněny i blok s diodami pro snímání teploty (vlevo) a deska kompresoru s fotoodporem (uprostřed)



Obr. 115. Rozmístění součástek pod šasi zesilovače 100 W

Celé hotové šasi zesilovače tvoří jeden celek a je zasunuto do překližkové skříně slepené polyuretanovým lepidlem a sešroubované velice pevnými vruty do sádrokartonu. Skříň je potažena koženkou a opatřena kováním (rohy, uchem a pryžovými nožičkami).

Šasi je v krabici uchyceno jedním šroubem M4 zašroubovaným do robustní příčky čtvercového průřezu z laminátu (nebo duralu apod.), která propojuje a vyztužuje přední a zadní panel šasi v dolní části.

Oživení

Po kontrole zapojení se nejprve oživí napájecí zdroje pro koncový zesilovač, žhavení a anody elektronek. Pozor na vysoké napětí!

Pokud je vše v pořádku, oživte nejprve oba předzesilovače. Postup je logický a byl popsán dříve. Nic není potřebné nastavovat, trimrem o odporu 100 kΩ v korekcích kanálu LEAD se volí zlomový kmitočet korekcí středů podle požadavků hráče. Pokud není v zapojení chyba, vše bude jistě fungovat na první zapojení.

Koncový zesilovač nejprve raději připojte přes ochranné rezistory v přívodech napájecího napětí a ověřte stabilitu zesilovače. Nastavte požadovaný bod omezení výkonu trimrem na desce limitéru.

Vyzkoušejte činnost přepínání kanálů a spínacích kontaktů konektorů.

Zesilovač byl provozován s různými reproduktorovými soupravami, které byly osazené kytarovými reproduktory 4x 12”, 1x 12”, 2x 10” apod.

Zvuk je velmi dobrý a variabilní, a to jak v kanálu LEAD, tak v čistém kanálu RHYTHM.

Reproduktorové soustavy a komba

V této části se zaměřím na příklady praktických reproduktorových soustav vhodných pro amatérskou stavbu.

Teoretické základy návrhu reproduktorových soustav byly probrány ve velice obsáhlém seriálu v PE. Takže zde spíše prakticky.

Výkonové zesilovače s moduly LEACH AMP byly doplněny několika typy reproduktorových soustav.

Menší lehké soustavy s reproduktorem 12” a jedním výškovým systémem se zvukovodem (hornou) jsou určeny pro vykrytí menších sálů. Jejich přenos vyšších hlubších, středních a vysokých kmitočtů je vzhledem k použitým kvalitním reproduktorům vynikající, velká je účinnost kolem 98 dB/W/m a rozumná je i zatižitelnost kolem 200 W na kus, přestože udávaná zatižitelnost použitého reproduktoru je 300 W. Reproduktor pracuje s výkonovou rezervou, má proto malé zkreslení a předpoklady pro dlouhý život... Výhodou těchto soustav je snadný transport a možnost umístit je na stojany.

Soustavy jsou napájeny ze stereofonních výkonových zesilovačů 2x 200 nebo 2x 300 W - podle potřeby.

Tyto menší reproduktorové soustavy se při nasazení ve větších sálech doplňují jednou aktivní subbasovou (subwoofer) skříní s jedním reproduktorem 18” o výkonu 600 W s velkou akustickou účinností i na nízkých kmitočtech. Soustava je osazena dvěma moduly koncových zesilovačů 300 W zapojenými do můstku s výhybkou pro subwoofer s nastavitelným horním dělicím kmitočtem podle potřeby od asi 100 do 250 Hz. Nf signál je získán smícháním obou stereofonních kanálů před výhybkou, vstupy jsou symetrické na konektorech XLR.

Pro potřeby ještě účinnějšího ozvučení se tyto soustavy doplňují dalšími velkými soustavami o zatížitelnosti 200 W, osazenými jedním širokopás-



Obr. 116. Dvoupásmová reproduktorová soustava (1x 12” + 1x 1”)

movým reproduktorem 15” a dvěma 1” výškovými drivery. I tyto soustavy jsou napájeny z „rackových” koncových zesilovačů, lze je ale použít i jako nástrojové, např. pro basovou kytaru a klávesy - k tomu účelu je pro vložení nástrojových nebo i koncových zesilovačů v horní části těchto soustav prostor pro skříň rack 2U.

Uvedené soustavy jsou doplněny řadou aktivních pódiových odposlechů a nástrojovými komby. Prakticky vše je osazeno popsanými zesilovači s velmi dobrými výsledky.

Dvoupásmová reproduktorová soustava (1x12” + 1x 1”)

Tato soustava je osazena jedním reproduktorem 12” (o impedanci 4 Ω) firmy B&C SPEAKERS, typ 12PL32, a jedním výškovým driverem DE45 se zvukovodem ME45 téže firmy.

Zatižitelnost soustavy je 250 W a citlivost 98 dB/W/m.

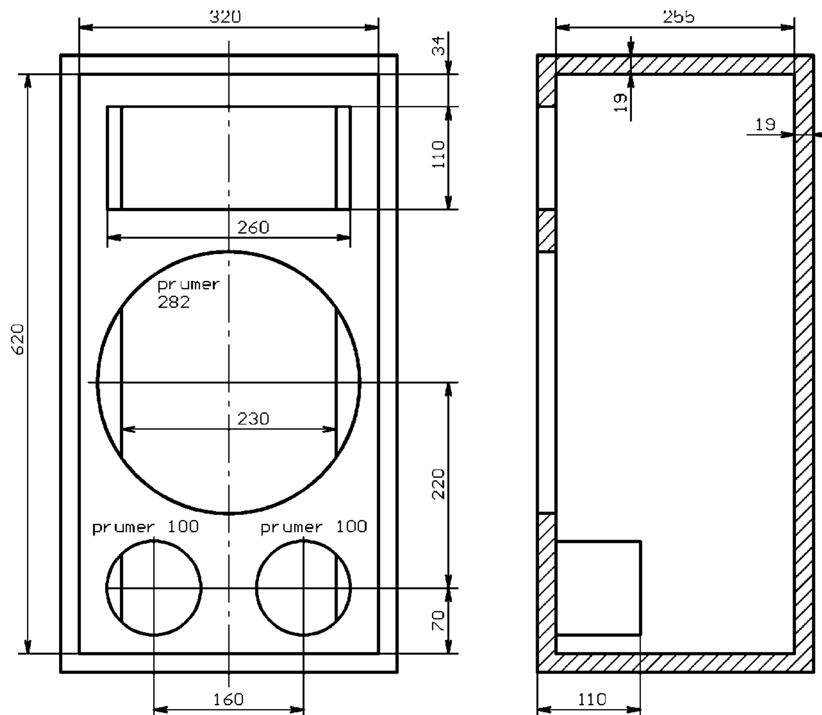
Vzhled soustavy je patrný z obr. 116.

Konstrukce reproduktorové soustavy vychází z doporučených rozměrů uveřejněných v podkladech firmy B&C. Výkres skříně s uvedenými hlavními rozměry je na obr. 117. Skříň nemá tvar kvádru, ale její půdorys je lichoběžníkový (směrem dozadu se zužuje). Vnitřní šířka u zadní stěny je 230 mm.

Jako materiál je použita smrková laťovka o tloušťce 19 mm. Nedoporučuji v tomto případě použít obvyklejší dřevotřískové nebo podobné dřevovláknité desky. Jejich mechanické vlastnosti jsou horší a hlavně hmotnost skříně vychází výrazně větší. Výhodou dřevotřísky je však mnohem menší cena a větší vnitřní tlumení materiálu. Lze použít i desky s větší hustotou - např. MDF pod., ale pak je hmotnost ještě větší.

Desky laťovky jsou spojovány truhlářským způsobem - kolíky a lepením. Lze samozřejmě použít i spojení lepením a vruty se zapuštěnou hlavou - nejlépe se osvědčily vruty do sádrokartonu. Hlavy vrutů je dobré zatmelit do roviny, ale pokud použijeme jako povrchovou úpravu potažení kobercem, není to u správně zapuštěných hlav ani nutné.

K lepení se mi nejvíce osvědčilo polyuretanové konstrukční lepidlo SOUDAL 60A. Je čiré a na rozdíl od jiných polyuretanových lepidel (Purex) neexpanduje - nepění. Vytvrdí se ve velmi pevnou a houževnatou hmotu a lepený spoj rozhodně nepovolí. Nejprve předvrtáme díry pro vruty a styčné plochy desek potřeme lepidlem, pak utáhneme vruty a případně ještě truhlářskými svěrkami stáhneme desky přes kus hranolu. Trochu hůře se dělají zkosené úhly. Díry pro reproduktory předem vyřízneme přímočarou pilou, reproduktory se vkládají zvenku. Vzhledem k použití systému bass-reflex není vnitřek skříně vyplněn žádným tlumicím materiálem. Pohled na rozestavěné skříně je na obr. 118.



Obr. 117. Hlavní rozměry skříně dvoupásmové reproduktorové soustavy (1x12” + 1x 1”)

Při provozu reproduktorové soustavy mimo studio je potřebné reproduktory chránit proti poškození. Reproduktory lze zakrýt dvěma způsoby.

Prvním je levnější, méně pracné, ale také méně vzhledné řešení. Na přední stěnu skříně přišroubujeme pomocí dodávaných příchytek továrně vyráběný kulatý kryt - mřížku na reproduktory 12” a výškový reproduktor nechráníme (zvukovod je hluboký a příliš nehrozí poškození systému).

Druhou a mnohem elegantnější možností je vyrobit kryt přes celou přední stěnu reproduktorové skříně z dírkovaného plechu. Potřebný plech se sežene např. v Praze ve Feroně v Holešovicích, ovšem je potřebné koupit celou tabuli o rozměrech 2x1 m asi za 700,- Kč. Pokud nechceme šetřit, je lepší použít dírkovaný nerezový plech stejného provedení a tloušťky - je mnohem pevnější a pružnější než obyčejný železný, také ale asi 3x dražší.

Po opracování dáme krycí plech nastříkat do práškové lakovny barvou podle vkusu, nejspíše asi černou matnou.

Bassreflexové nátrubky jsou koupené hotové, jsou levné a nemá cenu je vyrábět z plastových trubek apod.

Jako povrchovou úpravu skříně je nejvhodnější zvolit potah kobercem. Je to snadné, vzhledné a odolné. Je potřebné vybrat vhodnou tenčí odolnou (zátěžovou) krytinu, v barvě obvykle tmavošedé až černé. Výběr je v prodejnách s koberci velký. Lepí se Chemoprenem předepsaným způsobem, spotřeba lepidla je dosti velká. Po natření koberec značně změkne a dobře se s ním pracuje.

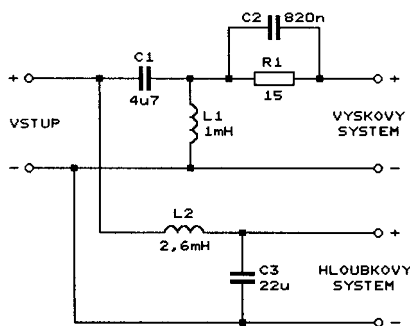
Rohy použijeme plastové tovární, připevněné zapuštěnými vruty s černou hlavou. Umožňují „stohování” stejných reproduktorových soustav - zářezy zamezují ujíždění horní soustavy.

Také plechová miska pro konektory se dá koupit hotová, pro ni vyřízneme v zadní stěně skříně odpovídající otvor. Misku lze koupit i přímo s otvory pro dva konektory SPEAKON. Popisovaná soustava je těmito konektory samozřejmě vybavena (oba zapojíme paralelně, druhý slouží pro případné paralelní řazení dalších soustav). Dále byla do panelu s konektory vyvrtána další díra a použita i zásuvka JACK 6,3 mm pro příležitostné použití.

Reprosoustava je ještě opatřena držáky na přenášení umístěnými v bočních stěnách a úchytem na stojan ve



Obr. 118. Rozestavěné skříně dvoupásmových reproduktorových soustav (1x12” + 1x 1”)



Obr. 119. Výhybka použitá ve dvoupásmové reproduktorové soustavě (1x 12" + 1x 1")

dnu. I tato „ucha" koupíme hotová, stačí zápustná dvojdílná plastová.

Před nákupem těchto užitečných polotovarů obejděte raději několik prodejen. Téměř vše pochází z Dálného východu, ale zcela stejný výrobek vyrobený evidentně ve stejné lisovací formě ze stejného materiálu lze koupit za ceny lišící se až o 500 %! Velké rozdíly jsou i v cenách konektorů. Osvědčila se mi prodejna PA SOUND v Praze 7, ve které je však zásobování poněkud nárazové a vždy není vše na pultě. Naopak objevíte „značkové" prodejny, kde seženete skoro všechno, ale za mnohem větší peníze.

Reproduktorová výhybka pro tuto soustavu je řešena podle doporučení výrobců použitých reproduktorů a její schéma je na obr. 119. Jako tlumivky byly použity vzduchové cívky navinuté měděným lakovaným drátem o průměru asi 1,5 mm. V sérii s výškovým systémem je zapojen drátový rezistor, který vyrovnává kmitočtovou charakteristiku celé soustavy.

Kondenzátory do výhybky použijte robustní na napětí minimálně 160 V (raději i více), přechodové jevy by mohly kondenzátory na menší napětí prorazit, což by znamenalo konec výškového systému. Nepoužívejte bipolární elektrolytické kondenzátory, hodí se nanejvýš tak do výhybky pro ozvučení auta nebo domů.

Reprosoustavy ve finální podobě umístěné na stojanech jsou vyfotografovány na obr. 120.



Obr. 120. Dokončené dvoupásmové reproduktorové soustavy (1x12" + 1x 1") na stojanech

Návrh reproduktorových výhybek

Dále popsanými výhybkami se rozděluje nf signál z výstupu zesilovače do hloubkového a výškového systému (reproduktoru). Výhybky představují kombinaci dolní a horní *LC* propusti, které mají shodný mezní (dělicí) kmitočet f_M.

Na obr. 121 je schéma výhybky 1. řádu, ve které jsou kmitočty mimo přenášené pásmo propustí potlačovány se strmostí 6 dB/oktávu (tj. 20 dB/dekádu).

Hodnoty součástek výhybky vypočítáme podle následujících vzorců:

$$L1 = Z1 \cdot 160/f_M \quad [\text{mH}; \Omega, \text{Hz}],$$

$$C1 = 160000/(f_M \cdot Z2) \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega],$$

kde f_M je dělicí kmitočet výhybky a *Z1* a *Z2* jsou jmenovité impedance hloubkového a výškového systému.

Na obr. 122 je schéma výhybky 2. řádu, ve které jsou kmitočty mimo přenášené pásmo propustí potlačovány se strmostí 12 dB/oktávu (tj. 40 dB/dekádu).

Hodnoty součástek výhybky vypočítáme podle následujících vzorců:

$$L1 = Z1 \cdot 225/f_M \quad [\text{mH}; \Omega, \text{Hz}],$$

$$L2 = Z2 \cdot 225/f_M \quad [\text{mH}; \Omega, \text{Hz}],$$

$$C1 = 112000/(f_M \cdot Z1) \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega],$$

$$C2 = 112000/(f_M \cdot Z2) \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega],$$

kde f_M je dělicí kmitočet výhybky a *Z1* a *Z2* jsou jmenovité impedance hloubkového a výškového systému.

Na obr. 123 je schéma výhybky 3. řádu, ve které jsou kmitočty mimo přenášené pásmo propustí potlačovány se strmostí 18 dB/oktávu (tj. 60 dB/dekádu).

Hodnoty součástek výhybky vypočítáme podle následujících vzorců:

$$L1 = Z1 \cdot 239/f_M \quad [\text{mH}; \Omega, \text{Hz}],$$

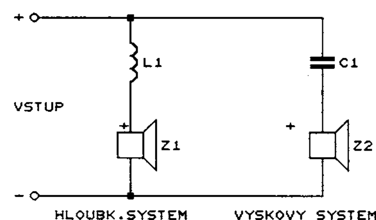
$$L2 = Z1 \cdot 80/f_M \quad [\text{mH}; \Omega, \text{Hz}],$$

$$L3 = Z2 \cdot 120/f_M \quad [\text{mH}; \Omega, \text{Hz}],$$

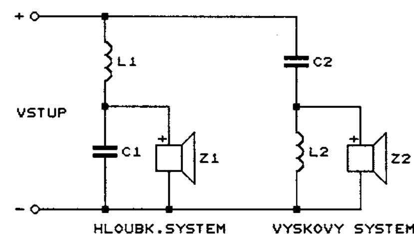
$$C1 = 212246/(f_M \cdot Z1) \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega],$$

$$C2 = 106123/(f_M \cdot Z2) \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega],$$

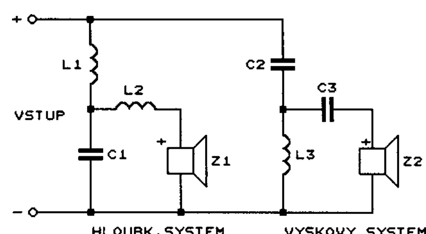
$$C3 = 318370/(f_M \cdot Z2) \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega],$$



Obr. 121. Výhybka 1. řádu se strmostí 6 dB/okt. (tj. 20 dB/dek.)



Obr. 122. Výhybka 2. řádu se strmostí 12 dB/okt. (tj. 40 dB/dek.)



Obr. 123. Výhybka 3. řádu se strmostí 18 dB/okt. (tj. 60 dB/dek.)

kde opět f_M je dělicí kmitočet výhybky a *Z1* a *Z2* jsou jmenovité impedance hloubkového a výškového systému.

Výhybky vyšších řádů (než třetího) nemá asi smysl konstruovat vzhledem k jejich složitosti a i příliš „divokému" kmitočtovému průběhu jejich vstupní impedance. Pokud některý typ reproduktoru vyžaduje velmi strmou výhybku vyššího řádu, poohlédněte se raději po nějakém jiném.

Výhybky reproduktorových soustav pro hudební účely jsou zpravidla konstruovány se strmostí 12 dB/okt. Vyhovuje to tak asi všem běžným typům systémů výkonných výškových reproduktorů - driverů. K nim se pak volí odpovídající zvukovod podle požadovaného vykrytí kmitočtového pásma a podle rozměrových možností.

Některé tovární špičkové reproduktorové soustavy mají ve svých výhybkách kompenzační součástky - rezistory, pomocné *RC* a *LC* články apod., jejichž hodnoty jsou určené na základě měření výsledných kmitočtových charakteristik.

V popsané dvoupásmové soustavě (viz obr. 119) je kvůli vyrovnání kmitočtové charakteristiky zařazen před velmi účinným výškovým systémem rezistor R1, který zmenšuje „přeznívání" vysokých kmitočtů a zároveň výhodně snižuje zatížení výškového reproduktoru.

Výškové reproduktory jsou velice citlivé na přetížení a ve výkonných sys-



Obr. 124. Reproduktor EMINENCE ALPHA 15" po opravě

témech je rozhodně nezapojujte přes výhybky s menší strmostí než doporučují výrobci. Při výpočtu raději zaokrouhlete hodnoty součástek výhybky na vyšší dělicí kmitočet, pak se zvětšuje bezpečnost provozu výškového reproduktoru. I tak je dobré nevyužívat naplno jejich zatížitelnost.

Doporučuji používat reproduktory opravdu určené pro hudební účely a ověřené praxí. Držte se praxe seriózních výrobců osvědčených reprosoustav. Ti vědí, čím své výrobky osadit, aby se vyhnuli problémům s reklamacemi a vadnými systémy a předešli ztrátě pověsti.

O „písknutí" či zakmitání přes snímač nebývá na koncertech nouze a u levných výrobků to znamená často jejich rychlý konec. O tom jsem se přesvědčil např. u celkem cenově dostupných 15" reproduktorů americké výroby EMINENCE. Dost často se mezi hudebníky používají vzhledem k dobré dostupnosti a ceně. Výrobce dodává od každého průměru několik řad reproduktorů, z nichž nejlevnější řada ALPHA má malé systémy i magnety a je vhodná jen pro zatížení asi 50 % udávaného výkonu. Rozhodně nedoporučuji reproduktor EMINENCE řady ALPHA s udávanou trvalou hudební zatižitelností třeba 200 W připojovat k zesilovači, který těch 200 W opravdu dá. ALPHA těch „opravdových" 200 W hudebního signálu s vyšším integrálem výkonu nevydrží ani deset sekund.

Naopak dražší reproduktory EMINENCE řady DELTA a vyšších řad se plně osvědčily - jejich systém je mnohem robustnější než u řady ALPHA a vyšší je samozřejmě i cena a hmotnost.

Taktéž výškový reproduktor MONACOR se zdánlivě „papírově" dobrými parametry mě „vydržel" jen ani ne dvě sekundy při zatížení podstatně menším než je udávaná maximální hudební zatižitelnost. Přitom měl doporučenou výhybkou se strmostí 12 dB/okt., „posazenou" kmitočtem vysoko nad dolním mezním kmitočtem reproduktoru.

Závady kmitacích systémů reproduktorů jsou těžko reklamovatelné, i když jsme katalogové údaje reproduktoru nepřekročili a jsme tedy v právu. O to musíme pracovat s reproduktory opatrněji.

Pro většinu značkových reproduktorů existují sady dílů (kity) pro opravy zničených systémů a membrán. Ovšem cena těchto sad se nepříjemně blíží ceně celého nového reproduktoru.

Neškodí připomenout, že v ČR existuje i „pár" šikovných opravářů, kteří dovedou přepálené kmitací cívky reproduktorů převinout. Vyříznou ve vhodném místě membránu a středicí systém a tak se dostanou ke kmitací cívce. Po opravě cívky (převinutí) řez vhodným lepidlem opraví. Výhodou je, že si můžete určit stejnosměrný odpor nové cívky. Fotografie takto opraveného reproduktoru EMINENCE ALPHA 15" je na obr. 124 - oprava není ani znatelná.

Aktivní reproduktorová soustava pro přenos nejnižších kmitočtů - aktivní subwoofer

Jeden tento aktivní subwoofer se používá pro doplnění dvou až šesti popsaných dvoupásmových soustav (1x 12" + 1x 1") při potřebě reprodukovat nejnižší (subbasové) kmitočty.

Je osazen jedním reproduktorem 18", 8 Ω firmy B&C typu 18PZB46 (obr. 125). Zatižitelnost reproduktoru je 700 W trvale nebo 1400 W špičkově a jeho citlivost je 97 dB/W/m.

Maximální akustický tlak celé reproduktorové soustavy je 132 dB ve špičkách, kmitočtový rozsah je vyhovující asi od 35 Hz.

Skříň subwooferu je typu bassreflex, její hlavní rozměry jsou na obr. 126.

Součástí této aktivní reprosoustavy je můstkový zesilovač s výkonem 600 W se dvěma moduly zesilovače LEACH AMP 300 W, s odpovídajícím napájecím zdrojem a kmitočtovou výhybkou pro omezení vyšších kmitočtů. Zapojení výhybky a diferenčního vstupního zesilovače bylo použito z časopisu SaK (Stavebnice a konstrukce).

Symetrizované signály levého a pravého kanálu z linkového výstupu



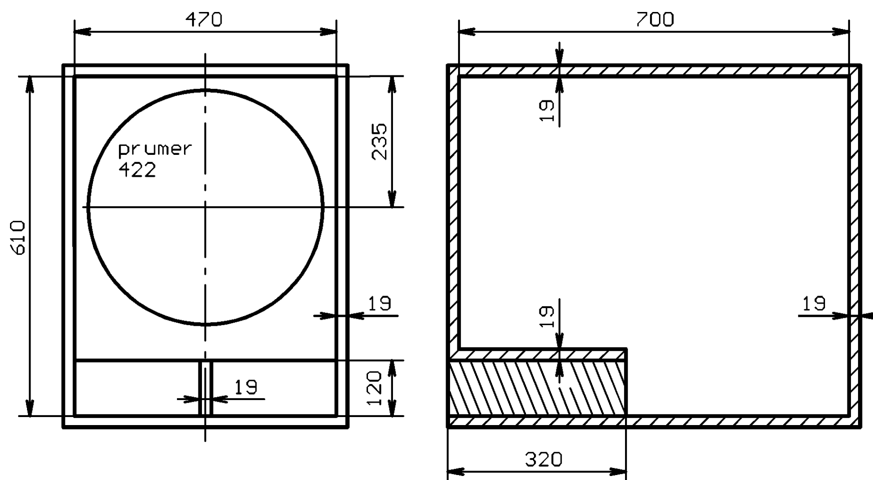
Obr. 125. Reproduktor 18" firmy B&C typu 18PZB46

směšovacího pultu se přivádějí přes konektory XLR na vstupy diferenčních zesilovačů. Pak se signály z obou kanálů sloučí a přivedou na vstup výhybky, která slouží jako dolní propust vyššího řádu s nastavitelným mezním kmitočtem. Na výstupu této výhybky jsou k dispozici dva signály (neinvertovaný a invertovaný) pro buzení koncových modulů. Na ovládací panel je vyveden i přepínač fáze výstupního signálu.

Stejnosměrné napájecí napětí dvou koncových modulů 300 W zapojených v můstku je asi ±60 V při plném zatížení, tomu odpovídá napětí sekundárních vinutí transformátoru asi 50 V naprázdno. Transformátor je dimenzován na trvalý výkon 500 W, což pro přenos jen nejhlubších kmitočtů vyhovuje. Kondenzátory ve zdroji jsou 2x 33 000 µF.

Rozměrné dva chladiče z taženého profilu pro koncové tranzistory jsou umístěny uvnitř skříně na nosnících z laminátových hranolků. Pro koncové tranzistory jsou v chladičích vyfrézovány drážky a tranzistory jsou na ně přišroubovány neizolovaně. Pojistky jsou společné pro obě větve můstku.

Zesilovače jsou opatřeny limitéry (podle obr. 106), nastavenými na omezování výstupního výkonu asi nad 500 W. Pokud v limitéru použijeme menší kapacitu kondenzátoru C1 než je předepsaných 100 µF, limitér pak při přebuzení na velmi nízkých kmitočtech pod 40 až 60 Hz díky kratší odběhové časové konstantě zavádí do signálu určité tvarové zkreslení, které však není rušivé, ale naopak vhodně „harmonizu-



Obr. 126. Hlavní rozměry skříně aktivního subwooferu (1x18")

je” signál - obohacuje ho příjemnými a „neškodnými” harmonickými kmitočty, podobně jako elektronkové předzesilovače. Díky těmto vyšším harmonickým má subwoofer větší akustickou účinnost. Nejlepší je se o uvedené funkci limitéru přesvědčit „na vlastní uši”.

Akustický výkon této soustavy je i na nejnižších kmitočtech více než dostatečný pro použití i ve větších sálech.

Mechanické provedení skříně subwooferu je obdobné jako u předcházející soustavy, navíc jsou použity výztuhy z vlepených a dlouhými vruty přišroubovaných hranolů, které propojují jednotlivé protilehlé stěny a zabraňují jejich „pumpování”. Vznikne tak velmi tuhá skříň o únosné hmotnosti.

Skříň je opět povrchově upravena kobercem. Reproduktor je chráněn továrně vyráběnou mřížkou 18”.

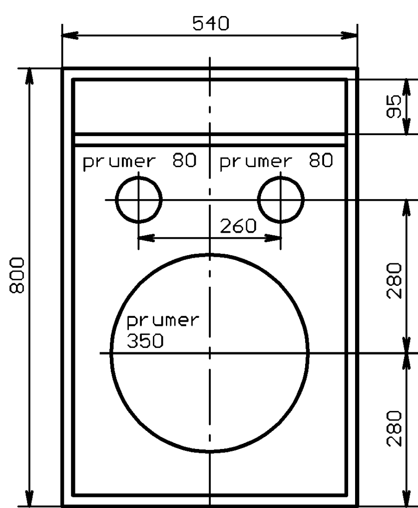
Subwoofer se může na jevišti umístit „neviditelně”, protože hluboké tóny se šíří téměř všesměrově.

Dvoupásmová reproduktorová soustava 15” (1x 15” a 2x 3”)

Tato soustava je určena pro univerzální použití a pro doplnění předcházejících soustav tehdy, když nestačí jejich výkon. Vyhovuje i na ozvučení různých společenských akcí apod.

Soustava má v horní části volný prostor pro umístění skříňky se zesilovačem normalizované šířky (19”) a výšky 2U.

Soustava je osazena jedním reproduktorem 15”, 8 Ω EMINENCE DELTA, kterým bylo nahrazeno původní osazení reproduktory řady EMINENCE ALPHA, které nepřežily.



Obr. 127. Hlavní rozměry skříně dvoupásmové reproduktorové soustavy 15” (1x15” + 2x 3”). Celková vnější hloubka skříně je 400 mm. Tloušťka stěn je asi 20 mm. V horní části skříně je volný prostor pro zesilovač, kóta 95 mm představuje čistou vnitřní výšku tohoto prostoru.



Obr. 128. Dvoupásmová reproduktorová soustava 15” s vloženým zesilovačem

Tento dosti širokopásmový reproduktor je doplněn dvojicí sériově zapojených výškových reproduktorů EMINENCE APT-130 s impedancí 2x 8 Ω s poměrně malým integrovaným zvukovodem. Zatižitelnost soustavy hudebním signálem je poctivých 200 W.

Zvukové vlastnosti soustavy, která je rozměrově poměrně velká, jsou dobré obzvláště u středních hlubších kmitočtů a i ve vyšších výškách. Slouží tedy jako kmitočtový doplněk dalších soustav s reproduktory 12”, není však vyloučené ani samostatné nasazení při určitém druhu ozvučení, kterému vyhovuje kmitočtový rozsah a charakter zvuku soustavy.

Hlavní rozměry skříně soustavy jsou na obr. 127.

Vzhledem k ceně laťovky byla skříň pro tuto jednoduchou a levnou soustavu tentokrát vyrobena z běžné dřevotřísky. Skříň je konstruována jako uzavřená, vnitřní prostor je důkladně vyplněn tlumicím materiálem - hustou syntetickou stříží. Skříň je pravoúhlá ve tvaru kvádru, bastreflex není použit.

Stojaté vlnění a odrazy zvukových vln mezi stěnami by byly nežádoucí. I u této skříně jsou mezi přední a zadní stěnou nad reproduktorem a mezi bočními stěnami výztuhy z hranolů.

Stavba této soustavy je snadná. V hypermarketu jsem nechal nařezat z dřevotřísky o tloušťce 20 mm desky (cekem 7), cena vychází kolem 200 Kč na jednu soustavu. Do příslušných stěn jsem vyřízl otvory pro reproduktory, ucha a misku s konektory a za odpoledne jsem desky sešrouboval a slepil. Po potažení kobercem a opatření doplňky je souprava skoro hotová.

Než vyčichne chemopren z potahu a dílny, můžeme postavit výhybku. Je použita výhybka 2. řádu podle obr. 122, dělicí kmitočet je zvolen 6 kHz. Pro jednoduchost jsem u několika soustav vynechal část výhybky pro hloubkový reproduktor, není důvod výšky přicházející do hloubkového systému omezovat. Energetický obsah výšek je malý a hloubkový systém nepřetíží. Zlepší se také kmitočtová mezera mezi vyzařovacími schopnostmi hloubkového a výškového systému. Vzhledem k malému zdvihu membrány „tvrdého” a zatlumeného basového reproduktoru nevznikne velké Dopplerovo zkreslení.

Polarita výškového reproduktoru vyhověla taková, jak je naznačeno na schématu výhybky.

Reproduktor 15” je pro jednoduchost zakryt jen koupenou kruhovou mřížkou, ale mřížka přes celou přední stěnu by byla určitě vzhlednější. Pohled na hotovou soustavu je na obr. 128.

Malé kombo pro klávesové nástroje

Toto kombo bylo navrženo jako snadno přenosné pro klávesové nástroje (obr. 129).

Kombo je osazeno jedním basovým reproduktorem 12”, 8 Ω typu např. EMINENCE DELTA a jedním výškovým reproduktorem 3”, 8 Ω.

Jako vstupní předzesilovač je využito zapojení s deskou s plošnými spoji, které bylo kdysi popsáno v Amatérském rádiu. Součástí desky předzesilovače je i vstupní konektor JACK 6,3 mm a potenciometr pro řízení úrovně externího efektu.

Předzesilovač je napájen ze zvláštního vinutí transformátoru, které poskytuje střídavá napětí 2x 18 V. Tato napětí jsou usměrňována diodovým můstkem, vyhlazována kondenzátory o kapacitě 1000 μF/35 V a stabilizována integrovanými stabilizátory 7815 a 7915 na výstupní velikost ±15 V.

Předzesilovače mohou být použity i dva, a v tom případě se jejich výstupní signály musí sloučit. Při slučování signálů součtovým obvodem z rezistorů se zmenší dosažitelné výstupní napětí



Obr. 129. Malé polovodičové kombo pro klávesové nástroje

pro koncový stupeň. Proto je s ohledem na dostatečnou přebuditelnost integrovaných obvodů před regulátorem hlasitosti potřebné zvětšit zesílení koncového stupně zmenšením odporu rezistoru R19 na 470 Ω (viz obr. 80 v KE 6/2003 nebo obr. 95 v tomto čísle KE).

Přebuditelnosti by také prospělo, kdyby se zvětšilo napájecí napětí předzesilovače na 18 V.

Na předním panelu zesilovače je také indikátor vybuzení s řadou LED, popsaný též již dříve v časopise Amatérské rádio. Indikátor je napájen napětím +15 V. Vstup indikátoru je připojen na vstup koncového zesilovače.

Koncový zesilovač je tvořen modulem LEACH AMP 200 W. Výkon modulu je zmenšen asi na 100 W (při impedanci reproduktoru 8 Ω) volbou stejnosměrného napájecího napětí modulu ± 50 V (naprázdno).

Vzhledem k předpokládanému využití pro klávesové nástroje se nemusí použít limitér podle obr. 106, ale rozhodně neuškodí.

Ve výkonovém zesilovači jsou koncové tranzistory MJ15003/ MJ15004 a diody pro snímání jejich teploty připevněny izolovaně na tlustostěnný hliníkový úhelník, který je přišroubován na zadní panel zesilovače, který slouží i jako chladič. Pro zvětšení účinnosti chlazení je panel v místě, ve kterém je přišroubován úhelník s tranzistory, doplněn kusem žebrovaného chladicího profilu s rovnou základnou. Připevnění tranzistorů k chladiči přes izolační podložky není na závadu, protože jsou relativně málo zatížené.

Napájecí zdroj koncového zesilovače obsahuje toroidní transformátor 150 W, diodový můstek 35 A/400 V a vyhlazovací elektrolytické kondenzátory o kapacitě 4700 µF/63 V (vhodná by byla i větší kapacita).

Mechanická koncepce komba je velmi jednoduchá.

Skříň komba je typu bassreflex, má vnější rozměry 65x45x30 (výška x šířka x hloubka) cm a je vyrobena z laťovky. Výhybka má strmost 12 dB na oktávu a dělicí kmitočet podle použitého výškového reproduktoru.

V levé horní části skříně komba je oddělený prostor pro zesilovač. Kostra zesilovače je tvořena dvěma kovovými panely (předním a zadním), které jsou v rozích spojeny distančnímu sloupky. Zesilovač je do skříně připevněn dvěma šrouby, které procházejí plastovými rohy.

Deska předzesilovače je prostřednictvím potenciometrů upevněna přímo na přední panel zesilovače (bez subpanelu). Deska modulu koncového zesilovače je uchycena k zadnímu panelu zesilovače distančními příchytkami. Součásti zdroje pro koncový zesilovač jsou přišroubovány na rovném plechu a ten je připevněn ke kostře zesilovače v prostoru mezi předzesilovačem a koncovým zesilovačem.

Kostru zesilovače lze také zhotovit jako vanu ve tvaru „U" ohnutím z jednoho kusu hliníkového plech nebo sešroubováním rovných hliníkových plechů a úhelníků. Pro zvětšení tuhosti vany se její horní okraje sešroubují dvěma distančními sloupky. Tento tvar kostry zesilovače je pro chlazení koncových tranzistorů ještě výhodnější než dříve popsaný.

Kombo 200 W pro basovou kytaru s reproduktorem 15"

Toto kombo o celkových rozměrech 80x60x40 cm je osazeno jedním reproduktorem 15". Koncový zesilovač je modul 200 W doplněný kompresorem, předzesilovač je elektronkový. Je osazen 2x ECC 83, schéma je prakticky shodné jako na obr. 65 v KE 6/2003.

Mechanická koncepce zesilovače i skříně je podobná předcházejícímu kombu, rozměry zesilovače jsou tentokrát 19".

Stejnosměrné napájecí napětí (naprázdno) koncového zesilovače musí být vzhledem k impedanci reproduktoru 8 Ω a požadovanému výkonu 200 W asi 2x 65 V.

Koncový zesilovač je opět vybaven popsaným jednoduchým limitérem. Indikátor vybuzení je dvojitý. Levý sloupec LED je zapojen před výstupní potenciometr hlasitosti, pravý sloupec na výstup koncového zesilovače. Nastavením potenciometrů zisku a hlasitosti lze podle potřeby vybudit zesilovač signálem basové kytary tak, že se začínají objevovat harmonické kmitočty a signál je konkrétnější.

Pohled na realizované basové kombo 200 W je na obr. 130.



Obr. 130. Kombo 200 W pro basovou kytaru

(O další podrobnosti konstrukce reprosoustav lze autora požádat mailem, jeho adresa je: v.voracek@quick.cz)

Neobvyklý hudební nástroj - Theremin

Tento analogový hudební nástroj pracuje na principu změny výstupního kmitočtu pohybem paže hudebníka. Pohybem druhé paže může hudebník u některých složitějších konstrukcí měnit i hlasitost signálu.

Nástroj samozřejmě nereaguje jen na pohyb paže hráče, ale i na veškeré změny v okolí antén.

Nástroj vynalezl ruský fyzik a hráč na violoncello Leon Theremin (obr. 131) již v roce 1919.

Hra na nástroj je velmi těžká, vyžaduje cvik a hudební sluch. Proto je, nebo bylo, na světě jen několik profesionálních hráčů.

Nejznámější z nich je asi Clara Rockmore (obr. 132), která žila v letech



Obr. 131. Vynálezce hudebního nástroje Theremin - Leon Theremin



Obr. 132. Clara Rockmore při hře na Theremin



Obr. 133. Dr. Robert Moog

1911 až 1998 a byla dobrá přítelkyně Leona Theremina.

Problematice Thereminu se také věnoval Dr. Robert Moog (obr. 133), známý průkopník analogových hudebních nástrojů.

Ve hře na Theremin se dodnes pořádají soutěže a festivaly, na mnoha internetových stránkách lze najít mnoho zajímavého o Thereminech i ukázky zvuků a filmové záběry.

Thereminu jsou věnovány např. tyto Internetové stránky:

http://www.he.net/~enternet/teci/teci.html

http://www.fastlane.net/~sawman/

http://www.ccsi.com/~bobs/theremin.html

http://www.137.com/theremins/

http://home.att.net/~theremin1/

Principy tvorby signálu v Thereminu

Změny kmitočtu oscilátoru, čili i kmitočtu, který je nástrojem generován, je dosaženo rozlaďováním oscilátoru změnou kapacity v rezonančním obvodu přibližováním ruky a těla hudebníka.

Změna kapacity je malá, proto nelze změnu kmitočtu oscilátoru využít přímo. Využívá se vždy principu směšování kmitočtu dvou vf oscilátorů, které kmitají na kmitočtech mnohem vyšších, než jsou kmitočty slyšitelné. Jeden oscilátor je pevně naladěn na stálý kmitočet, druhý je rozlaďován hudebníkem změnou kapacity vodiče (antény), který je součástí laděného rezonančního obvodu. Při přiblížení ruky se kapacita zvětšuje a kmitočet příslušného oscilátoru se snižuje. Vyhodnocuje se rozdíl kmitočtů obou oscilátorů, spadající do akustického pásma.

Signál s rozdílovým kmitočtem vzniklý směšováním signálů obou oscilátorů se filtruje, aby v něm nezůstaly zbytky vf signálu z oscilátorů a signál se součtovým kmitočtem, a dále se upravuje jeho tvar.

Pokud má nástroj i řízenou dynamiku (hlasitost signálu), využívá se ještě další dvojice podobných nebo zcela shodných oscilátorů. Kmitočet jednoho z nich se opět mění přiblížením ruky k dalšímu vodiči nebo ploše, vyvedené na jiném konci nástroje. Proměnlivý rozdíl jejich kmitočtů se přes derivační obvod přivádí na usměrňovač. Usměrněné napětí, jehož velikost je určena rozdílovým kmitočtem, řídí amplitudu výstupního signálu nástroje.

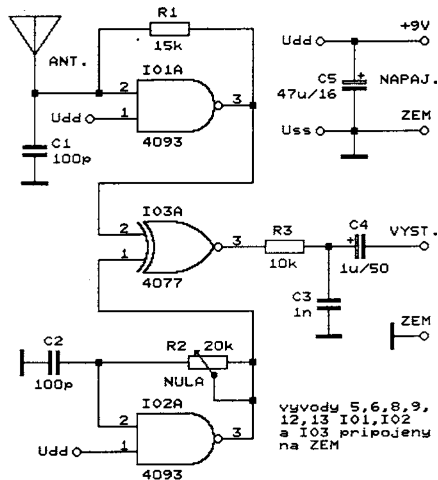
Jiný způsob řízení hlasitosti je takový, že se vf napětí generované rozlaďovaným oscilátorem přivádí přímo bez směšování na rezonanční obvod naladěný na kmitočet přelaďovaného oscilátoru pro řízení hlasitosti, a vyhodnocuje se změna nakmitaného napětí na tomto obvodu při rozladění oscilátoru.

Součástí nástroje bývají další obvody pro úpravu tvaru signálu a popř. napěťové výstupy pro řízení dalších nástrojů - analogových syntezátorů.

Nejdůležitější součástí celého nástroje jsou oba oscilátory.

Pro konstrukci těchto oscilátorů platí několik zásad, občas protichůdných. Především musí mít stabilní kmitočet při změně teploty i napájecího napětí. Dále se přelaďovaný oscilátor musí nechat účinně rozlaďovat změnou kapacity v rezonančním obvodu. Oscilátory se nesmí vzájemně strhávat (synchronizovat) a přitom musí dávat dostatečný výkon pro směšovač.

Oscilátory by také neměly příliš vyzařovat do okolí, obzvláště dnes, kdy se přísně sleduje elektromagnetická kompatibilita zařízení.

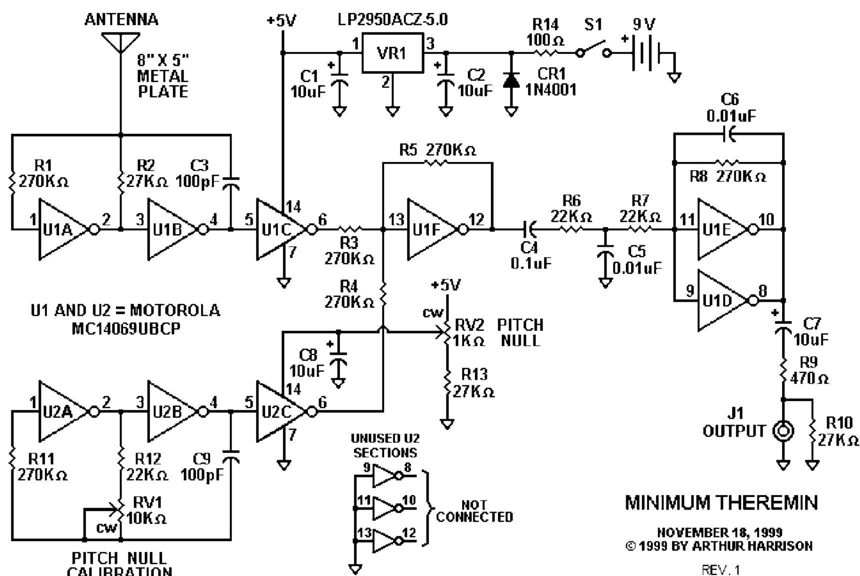


Obr. 134. Jednoduchý Theremin s IO CMOS 4093

Kmitočty oscilátorů bývají u většiny zapojení nastaveny v rozsahu od 0,5 do 1 MHz a používají se nejen oscilátory *LC*, ale i oscilátory *RC*, s Wienovým článkem apod.

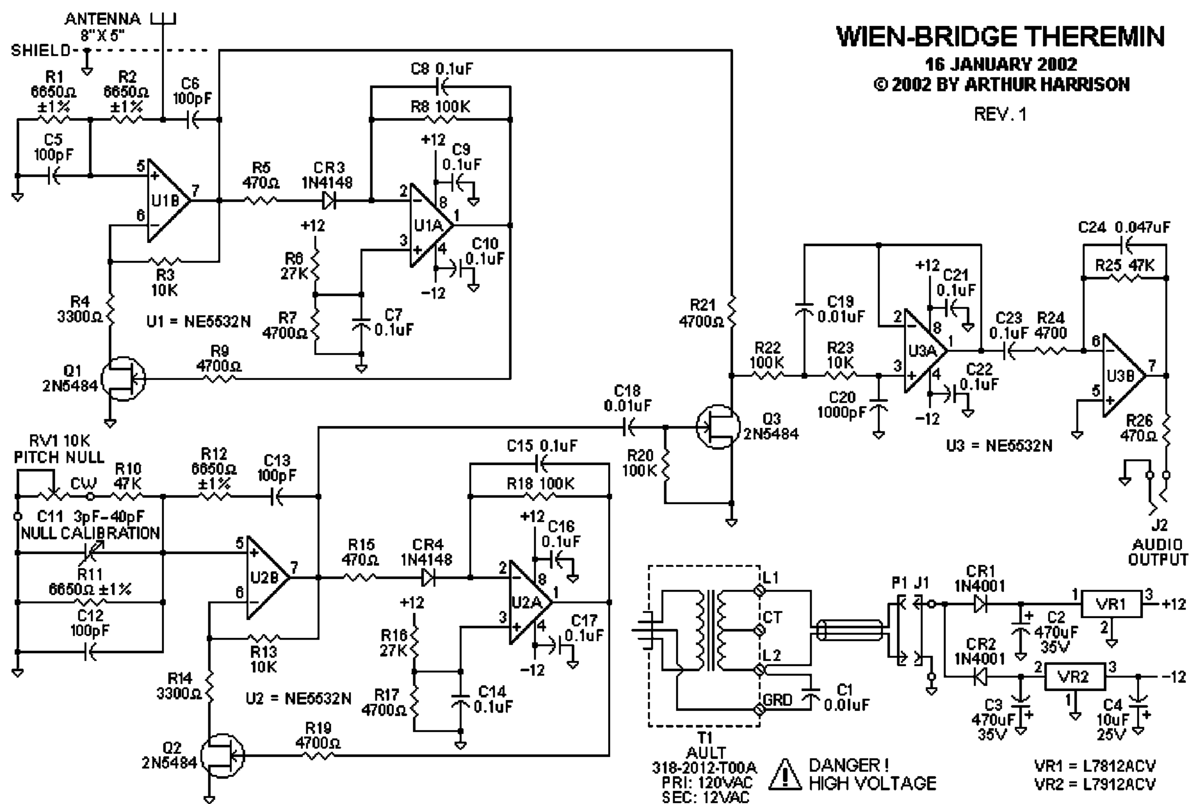
Podobné zapojení hudebního nástroje využívá i změny kmitočtu oscilátoru změnou osvětlení fotorezistoru, ale tento princip již není původním principem Thereminu.

Pro směšování signálů obou oscilátorů se používají nejrůznější obvody - jednoduché směšování na přechodu báze-emitor tranzistoru, směšování na



Obr. 135. Theremin s IO CMOS 4069

Obr. 136. Theremin s IO CMOS 4046



Obr. 137. Theremin s Wienovým můstkem. U nás musí mít síťový transformátor T1 primární vinutí na 230 V/50 Hz!

jedné diodě, na dvojici nebo na čtveřici diod ve vyváženém demodulátoru, směšování v integrovaných obvodech atd.

Příklady zapojení nástrojů Theremin

První Thereminy byly samozřejmě osazeny elektronkami.

Některé tyto nástroje jsou dodávány jako stavebnice různými firmami (např. PAiA.com) a nelze je dále vyrábět za účelem dosažení zisku bez souhlasu autora.

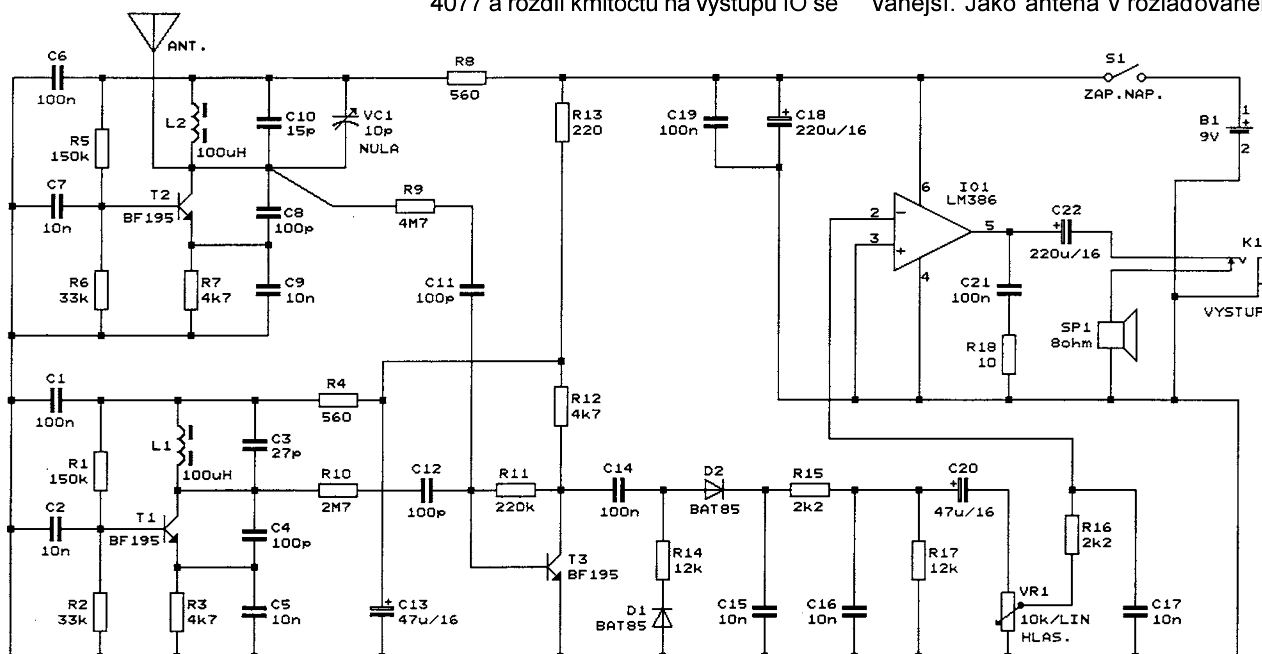
U nás se asi komerční výroba takových nástrojů nepředpokládá, ale přesto se raději informujte o možnostech výroby na patřičných internetových stránkách autorů zapojení. Najdete je rychle po zadání výrazu „theremin" do nějakého vyhledávače, např. GOOGLE.

Na obr. 134 je asi nejjednodušší zapojení nástroje. Oba oscilátory jsou tvořeny integrovaným obvodem CMOS 4093. Oscilátory jsou *RC*, součástí nástroje tedy není obvyklý laděný obvod *LC*. Zázněj se nastavuje trimrem v dolním oscilátoru. Oba kmitočty se směšují v integrovaném obvodu CMOS 4077 a rozdíl kmitočtů na výstupu IO se filtruje jednoduchým článkem *RC*, který potlačuje součtový signál.

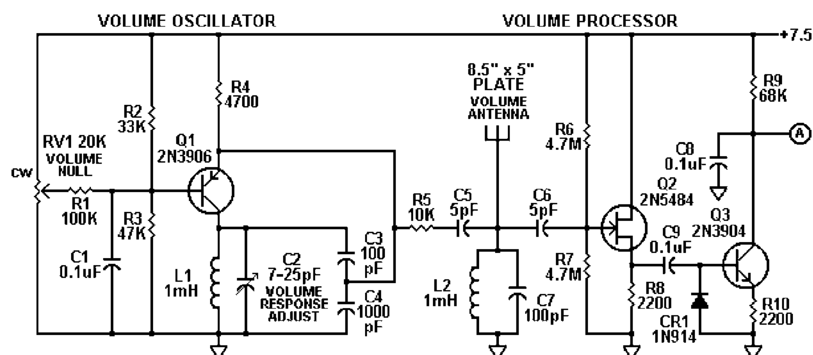
Rozlaďování horního oscilátoru u tohoto nástroje bude při rozumných rozměrech antény zřejmě nedostatečné a teplotní a napěťová stabilita, která způsobuje nekontrolovatelný posuv kmitočtu a ujíždění klidového nastavení, bude vzhledem k použitému principu a jednoduchosti malá.

Nástroj též nemá řízenou hlasitost generovaného signálu a zapojení se hodí spíše k prvním pokusům.

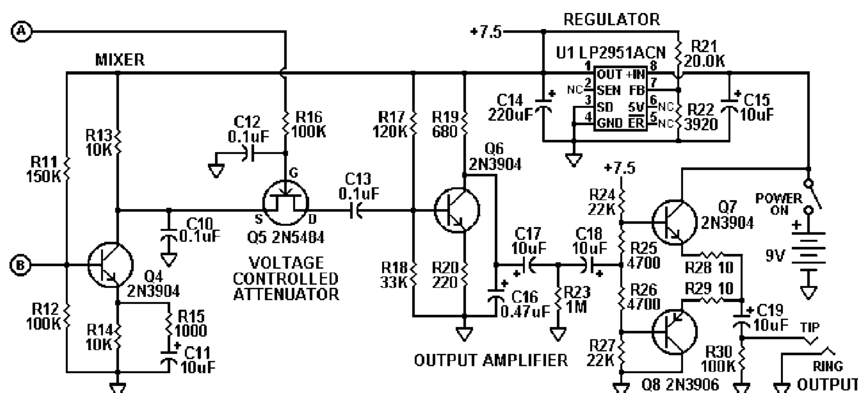
Zapojení z obr. 135 pracuje na stejném principu, jen je o něco propracovanější. Jako anténa v rozlaďovaném



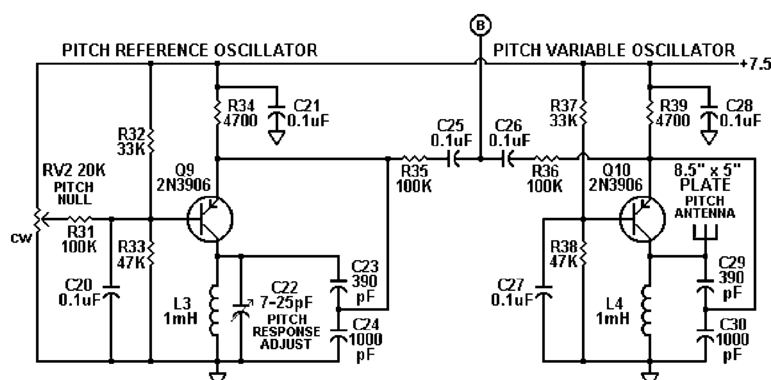
Obr. 138. Theremin s obvodem LC a cívkami bez odboček



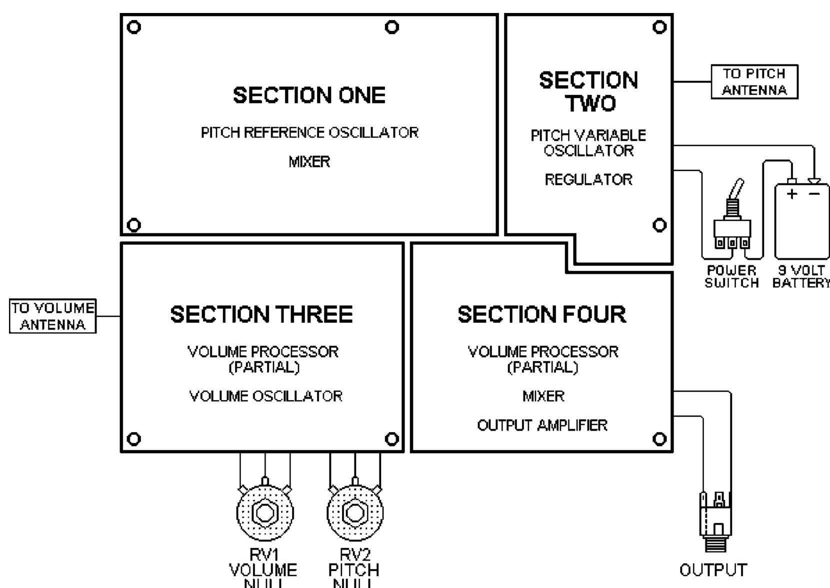
Obr. 139a. Theremin - oscilátor pro řízení hlasitosti



Obr. 139b. Theremin - obvod pro řízení hlasitosti a výstupní obvod



Obr. 139c. Theremin - oscilátory generující tón



Obr. 139d. Theremin - mechanické uspořádání jednotlivých bloků (sekcí) nástroje

oscilátoru je použita kovová deska o rozměrech asi 20x12 cm.

V zapojení na obr. 136 se jako rozlaďovaný oscilátor využívá oscilátor *RC* z integrovaného fázového závěsu CMOS 4046. Oscilátor s pevným kmitočtem je též *RC* a je zapojen s invertory CMOS 4069. Signály z obou oscilátorů se směšují dvojitě vyváženým směšovačem, který je součástí fázového závěsu.

Theremin s Wienovým můstkem z obr. 137 využívá zapojení Wienova článku *RC* ve zpětné vazbě operačního zesilovače. Druhá polovina operačního zesilovače je využita pro stabilizaci amplitudy oscilací.

Na obr. 138 je již dokonalejší zapojení nástroje. Oba oscilátory jsou *LC* a jsou totožné. Horní je rozlaďován anténou zapojenou v kolektoru oscilačního tranzistoru a je dolaďován kapacitním trimrem na potřebný zázněj. Cívka o indukčnosti 100 μH v laděném obvodu nepotřebuje v tomto zapojení odbočku, oscilátor pracuje s kapacitním děličem. Signál obou oscilátorů se zesiluje ve stupni s tranzistorem a směšuje v obvodu s diodami D1 a D2. Jako koncový zesilovač pro reproduktor nebo sluchátka slouží obvod LM386. Výhodou tohoto zapojení oproti zapojením s oscilátory *RC* je větší stabilita oscilátorů *LC* a jejich větší rozladitelnost.

Na obr. 139a až obr. 139d je zapojení dokonalého Thereminu od Arthura Harrisona. Oscilátory jsou *LC* s cívkami bez odboček. V obvodu pro řízení hlasitosti je signál generovaný v pevném oscilátoru přiváděn přes malý kondenzátor na rezonanční obvod *L2, C7*, který je rozlaďován anténou pro řízení hlasitosti. Změna vf napětí na tomto rezonančním obvodu je po zesílení a usměrnění použita jako řídící napětí pro napěťově řízený sériový útlumový článek s tranzistorem J-FET (Q5).

Skutečné provedení Thereminu (jiného než z obr. 139) je na obr. 140.

Z obrázku je též zřejmý i způsob hry na tento hudební nástroj.



Obr. 140. Skutečné provedení hudebního nástroje Theremin. Vlevo je svislá anténa pro ovládání výšky tónu (PITCH), vpravo je vodorovná anténa pro ovládání hlasitosti (VOLUME)

ŘÍDICÍ JEDNOTKA TROJFÁZOVÉHO STŘÍDAČE

Ing. Roman Hrbáč

V elektrických pohonech strojů se k regulaci rychlosti a směru otáčení asynchronních motorů používají měniče kmitočtu. Velmi často se používají nepřímé měniče kmitočtu s napěťovým střídačem. Tento článek má formou referátu seznámit čtenáře s problematikou napěťových střídačů a naznačit řešení a funkci řídicí jednotky trojfázového (napěťového) střídače. Řídicí jednotka obsahuje dva mikropočítače a ovládá se prostřednictvím menu na displeji. Uživatel tak snadno může nastavovat parametry řídicí jednotky ovládající měnič a tím ovládat motor.

Řídicí jednotka byla realizována v rámci diplomové práce, podrobný popis jejího hardware a software však přesahuje možný rozsah tohoto článku. Vážným zájemcům můžeme na jejich CD-R nahrát celý rukopis článku, který obsahuje i podklady pro výrobu DPS řídicí jednotky a software obou mikropočítačů.

1. Popis a analýza funkce střídačů s vlastní komutací

Termínem střídač je označován měnič, pracuje-li převážně ve střídačovém chodu. Oproti měničům s vnější komutací, které využívají normální tyristory (jejich komutace probíhá s využitím napětí na střídavé straně měniče) musí být měniče s vlastní komutací osazeny vypínatelnými součástkami nebo musí být vybaveny komutačními obvody.

Na obr. 1.1 jsou naznačeny dvě sestavy využívající měnič se střídavou a stejnosměrnou stranou.

Na obr. 1.1a je na střídavé straně předpokládán zdroj (např. rozvodná síť). K označení kladných smyslů veličin je použit tzv. zdrojový systém (nesouhlasný kladný smysl napětí a proudu).

Na obr. 1.1b je na střídavé straně předpokládaná zátěž (např. asynchronní motor). K označení kladných smyslů veličin je použit tzv. spotřebičový systém (souhlasný kladný smysl napětí a proudu). Pro činný a jalový výkon prvních harmonických složek v obou případech platí vztahy:

$$P_{(1)} = m \cdot U_{(1)} \cdot I_{(1)} \cdot \cos \varphi_{(1)} \quad [\mathrm{W}; -, \mathrm{V}, \mathrm{A}] \quad (1.1)$$

$$Q_{(1)} = m \cdot U_{(1)} \cdot I_{(1)} \cdot \sin \varphi_{(1)} \quad [\mathrm{var}; -, \mathrm{V}, \mathrm{A}] \quad (1.2)$$

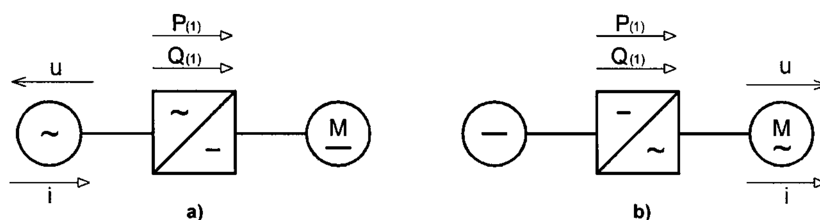
v nichž $U_{(1)}$, $I_{(1)}$ jsou efektivní hodnoty prvních harmonických složek fázového napětí a proudu, m je počet fází a $\varphi_{(1)}$ je fázové zpoždění 1. harmonické fázového proudu za 1. harmonickou fázového napětí.

V souladu se zvolenými kladnými smysly jde však v případě obr. 1.1a o výkony vydávané střídavou stranou a v případě obr. 1.1b o výkony přijímané střídavou stranou. Fázové diagramy těchto dvou případu jsou naznačeny na obr. 1.2.

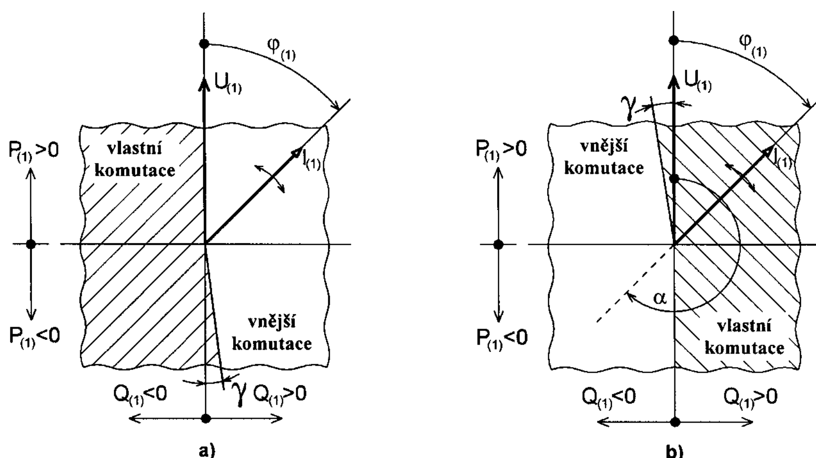
Na obr. 1.2a vystihuje fázový diagram odběr činného i jalového výkonu ze střídavé strany, zatím co fázový diagram naznačený na obr. 1.2b představuje odběr činného i jalového výkonu střídavou stranou.

Ve fázovém diagramu na obr. 1.2b je třeba, vzhledem k uvažovaným kladným smyslům veličin, odečítat úhel α tak, jak je na obrázku ukázáno. S tím pak souvisí i vyznačení oblastí vnější a vlastní komutace. Běžně předpokládaný odběr jalového výkonu zátěží vede na pohyb fázoru $I_{(1)}$ ve vyšrafované oblasti vlastní komutace. Z těchto vlastností vyplývá, že pokud je vyžadován odběr jalového výkonu střídavou stranou měniče, musí být měnič vybaven vlastní komutací. Vlastní komutace je nezbytná i při odběru čistě činného výkonu zátěží.

Střídače s vlastní komutací nalézají uplatnění jako záskokové zdroje pro napájení důležitých střídavých spotřebičů z náhradních zdrojů (baterií) při výpadku napětí sítě. Nejběžnější použití střídačů s vlastní komutací je v sestavách měničů kmitočtu: síť – usměrňovač – střídač – zátěž (např. asynchronní motor). Běžně dosahované výkony třída-



Obr. 1.1. Sestava měniče se střídavou a stejnosměrnou stranou



Obr. 1.2. Fázové diagramy vlastní a vnější komutace měniče se střídavou a stejnosměrnou stranou

čů jsou stovky kW. Běžný rozsah výstupních kmitočtů je od desetin Hz až do stovek Hz (viz [8]).

1.1. Základní typy střídačů

Střídače rozlišujeme podle charakteru střídavé strany na:

- Napěťové střídače.
- Proudové střídače.

a dále podle počtu napájecích fází na:

- Jednofázové spojení.
- Trojfázové spojení.

Řídicí jednotka je navržena pro základní řízení napěťových střídačů, proto i další teoretický popis bude věnován těmto napěťovým střídačům.

1.2. Základní obvodové principy napěťových střídačů

Výklad základních obvodových principů je proveden nejdříve pro jednofázové můstkové spojení napěťového střídače s čistě odporovou zátěží a pak se zátěží *RL*.

Poté následuje popis trojfázového spojení napěťového střídače s čistě odporovou zátěží a se zátěží motorickou.

Jednotlivé výklady jsou podle možností ilustrovány průběhy pulsů řídicích střídač a průběhy výstupního napětí (popř. výstupního proudu) střídače.

Pro jednotlivé popisy následujících zapojení napěťových střídačů platí pravidlo, že kmitočet *f* výstupního napětí a proudu střídače se řídí kmitočtem spínaní součástek střídače. Průběhy výstupního napětí a proudu jsou zakreslovány v závislosti na elektrickém úhlu ωt.

1.3. Jednofázové můstkové spojení napěťového střídače

1.3.1. Odporová zátěž

Na obr. 1.3a je nakresleno zapojení napěťového střídače v jednofázovém můstkovém spojení. Skládá se ze čtyř vypínatelných součástek a je nejpoužívanějším jednofázovým spojením.

Sledy spínaní (sledy taktů) vypínatelných součástek s průběhy napětí a proudu na zátěži při řízení s řídicím úhlem $\psi = 180°$ jsou vyznačeny na obr. 1.3b a s řídicím úhlem $\psi < 180°$ na obr. 1.3c. Princip činnosti je z obrázků zřejmý.

Naměřené průběhy spínacích pulsů z dále popisované řídicí jednotky pro $\psi = 1°$, $\psi = 120°$ a $\psi = 180°$ jsou na obr. 2.4 (úhel $\psi = 1°$ je nejmenší nastavitelný programový úhel). Na oscilogramu nebylo zachováno stejné písmenové ani číselné označení řídicích pulsů, jaké je na obr. 1.3. Stopa D1 (horní stopa na oscilogramu na obr. 1.4) je vlastně stopa V1 z obr. 1.3, stopa D2 (druhá stopa odshora na oscilogramu na obr. 1.4) je stopa V4 z obr. 1.3. Dále D3 = V3 a D4 = V2.

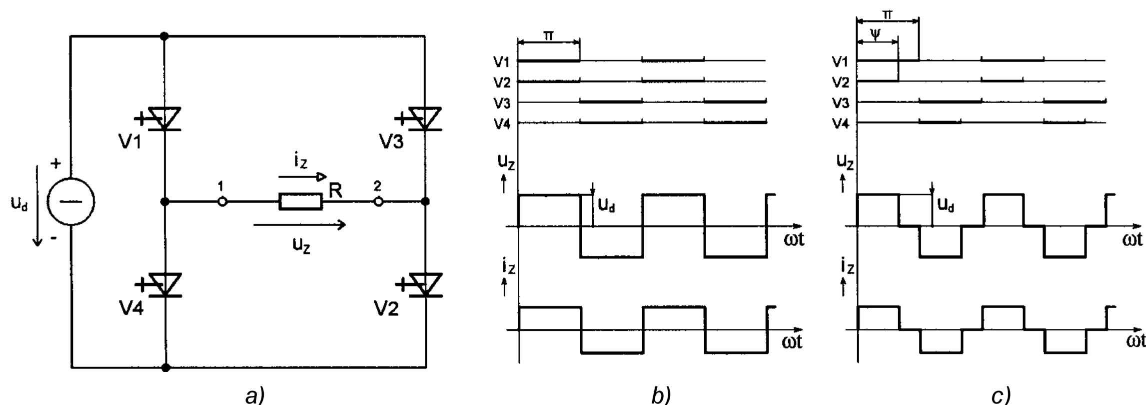
Průběhy výstupního napětí při jednofázovém můstkovém spojení s odporovou zátěži pro $\psi = 30°$, $\psi = 90°$ a $\psi = 180°$ naměřené na napěťovém střídači řízeném dále popisovanou řídicí jednotkou jsou znázorněné na obr. 1.5.

1.3.2. Zátěž *RL*

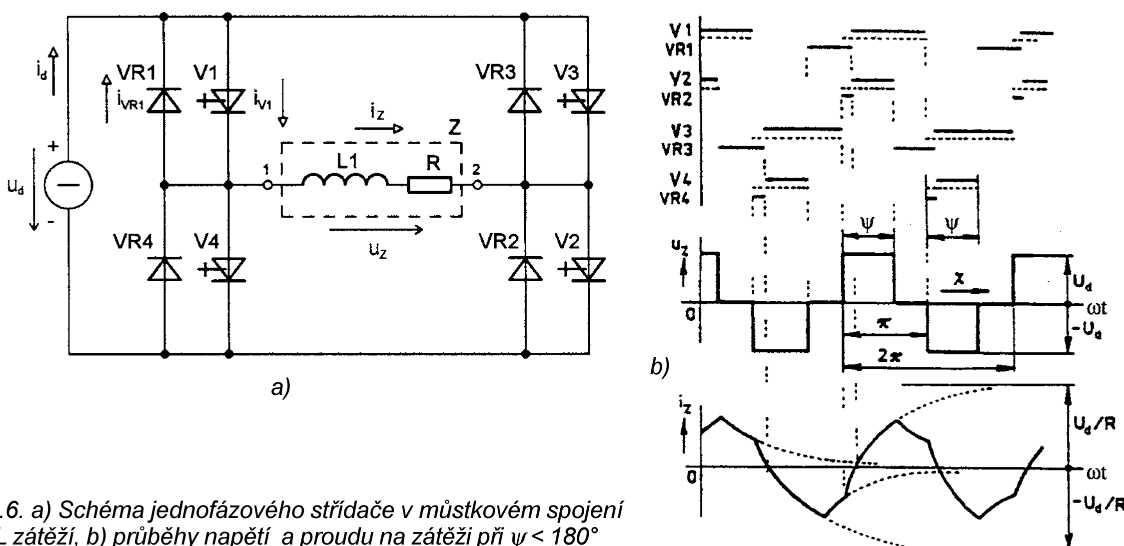
Schéma zapojení napěťového střídače se zátěží *RL* je na obr. 1.6a. *V1* až *V4* jsou vypínatelné součástky (tranzistory nebo vypínací tyristory). K nim jsou antiparalelně připojeny zpětné diody *VR1* až *VR4*, které spolu tvoří zpětný usměrňovač.

Řízením ψ v rozsahu *0* až π lze řídit napětí na zátěži. Řídí-li se ψ všech spínačů, vychází nepříznivá křivka napětí na zátěži. Používá se proto takové řízení, že u dvou spínačů *V1* a *V3* zůstává $\psi = \pi$ a u druhých dvou se ψ řídí v rozsahu *0* až π. Křivka napětí na zátěži tak vychází mnohem příznivěji.

Spínací diagram a proudové a napěťové poměry takto řízeného střídače jsou uvedeny na obr. 1.6b. Ve spínacích diagramech jsou tečkovaně ozna-

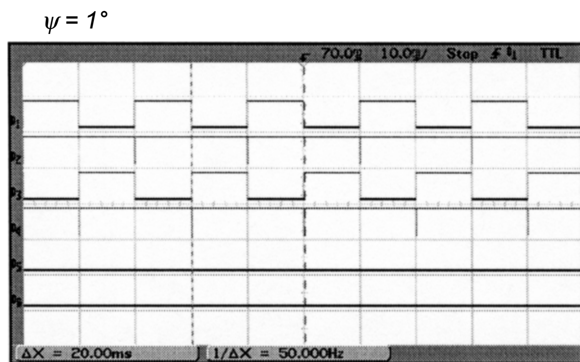


Obr. 1.3. a) Schéma jednofázového střídače v můstkovém spojení s odporovou zátěží, b) průběhy napětí a proudu na zátěži při $\psi = 180°$, c) průběhy napětí a proudu na zátěži při $\psi < 180°$

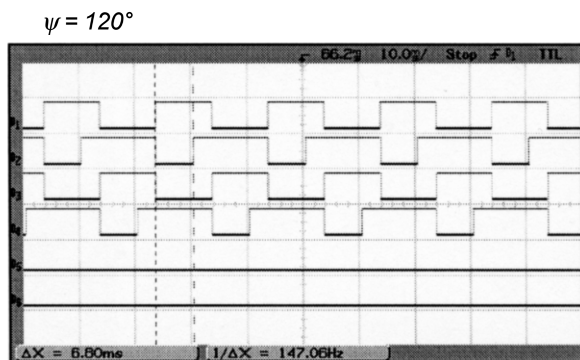


Obr. 1.6. a) Schéma jednofázového střídače v můstkovém spojení s RL zátěží, b) průběhy napětí a proudu na zátěži při $\psi < 180°$

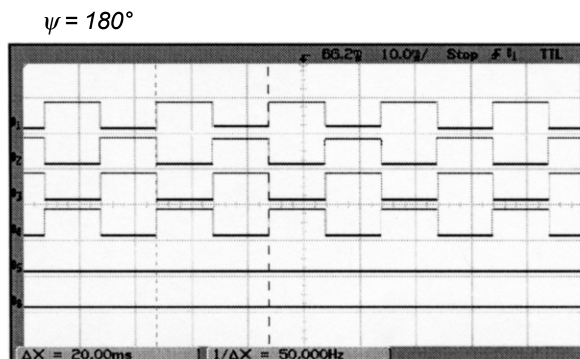
$\psi = 1°$



$\psi = 120°$

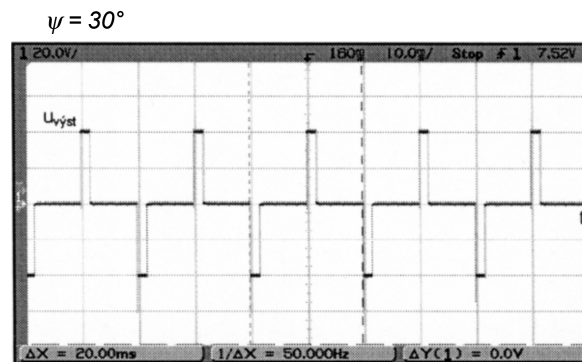


$\psi = 180°$

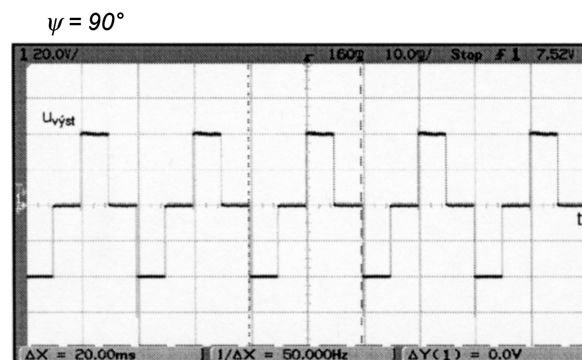


Obr. 1.4. Naměřené průběhy spínacích impulsů při jednofázovém obdélníkovém šířkovém řízení výstupního napětí (při výstupním kmitočtu 50 Hz)

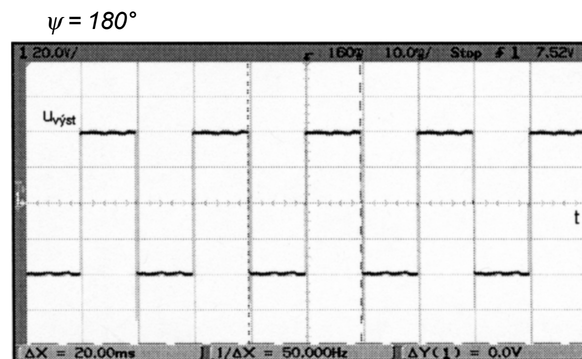
$\psi = 30°$



$\psi = 90°$

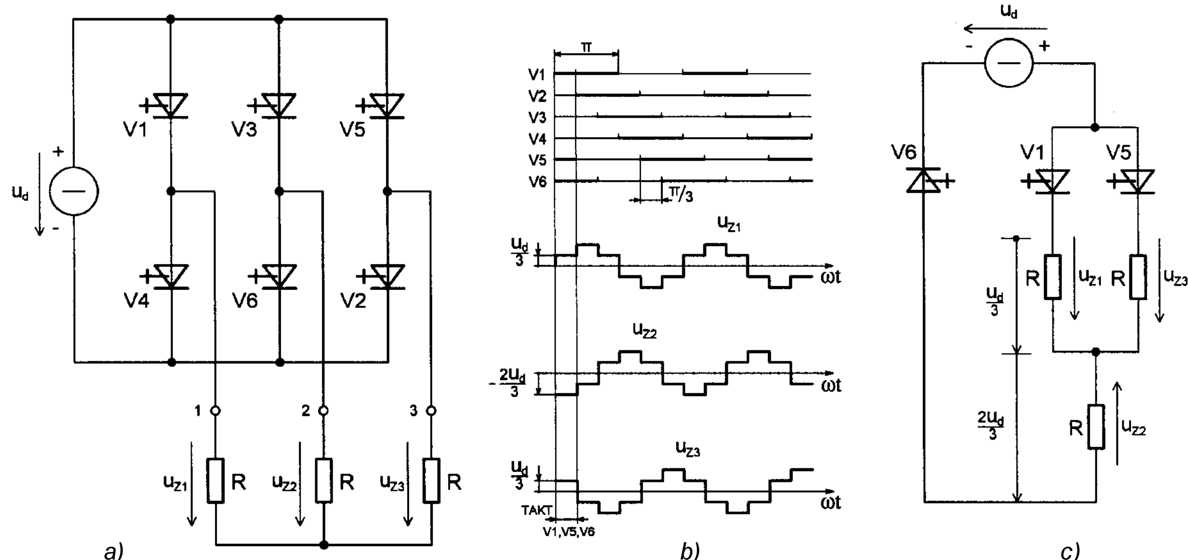


$\psi = 180°$

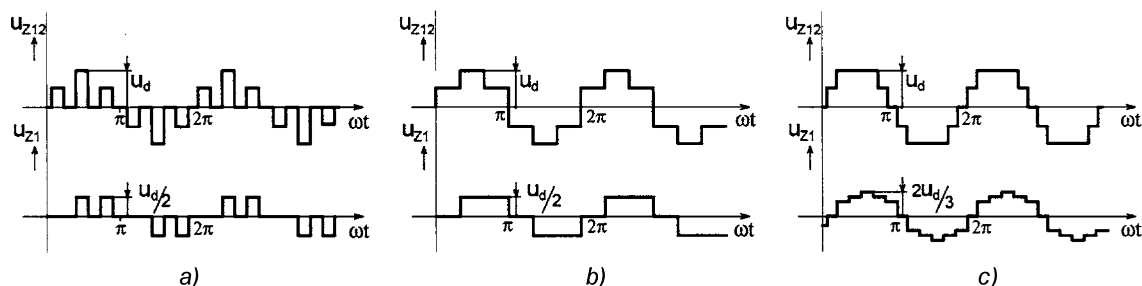


Obr. 1.5. Naměřené průběhy výstupního napětí na odporové zátěži při jednofázovém obdélníkovém šířkovém řízení výstupního napětí (při výstupním kmitočtu 50 Hz)

čeny intervaly mezi začátkem a koncem zapínacího impulsu vysílaného na součástku. Skutečné intervaly sepnutí jsou nad tímto tečkováním vyznačeny plně a pod tečkováním jsou plně vyznačeny intervaly sepnutí zpětných diod. Průběh u_z je závislý na řízené hodnotě ψ dvou ze spínačů můstku a na impedanci zátěže. Pokud je ovšem proud zátěže nepřerušovaný, tak u_z na impedanci zátěže nezávisí. Průběhy proudu i_z jsou patrné z obrázku (viz [8]).



Obr. 1.7. a) Schéma trojfázového střídače v můstkovém spojení s odporovou zátěží, b) spínací diagram a příslušné průběhy fázových napětí, c) náhradní schéma pro takt V1, V5, V6



Obr. 1.8. Průběhy sdružených (u_{z12}) a fázových (u_{z1}) napětí při různých úhlech řízení: a) ψ = 90°, b) ψ = 120°, c) ψ = 150°

Tento princip řízení spínacích pulsů pro napěťový střídač v jednofázovém můstkovém spojení je používán dále popisovanou řídicí jednotkou při jednofázovém obdélníkově šířkovém řízení napětí.

1.4. Trojfázové můstkové spojení napěťového střídače

1.4.1. Odporová zátěž

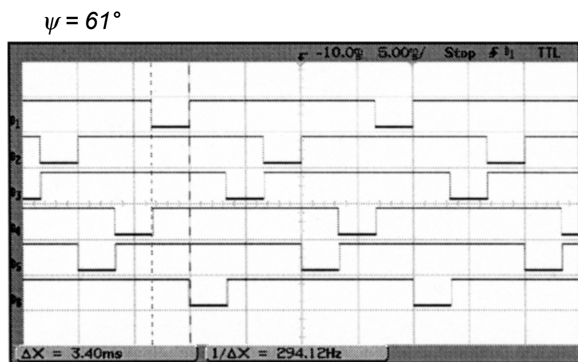
Trojfázový střídač v můstkovém spojení je uveden na obr. 1.7a. Jeho šest součástek se spíná s odstupem elektrického úhlu *π/3*. Jsou-li intervaly sepnutí jednotlivých součástek rovny hodnotě π, jak je naznačeno na obr. 1.7b, jsou vždy současně sepnuty tři součástky. Napětí na jednotlivých fázích zátěže lze určit z Ohmova zákona tak, jak to zobrazuje obr. 1.7c pro jeden z taktů (V1, V5, V6).

Průběhy napětí na čistě činné zátěži při různých úhlech ψ lze odvodit ze spínacího diagramu. Problém je zjednodušen tím, že při činné zátěži se neuplatňují zpětné diody. Průběhy sdružených a fázových napětí na zátěži pro různé tři hodnoty ψ jsou naznačeny na obr. 1.8 (viz [8]).

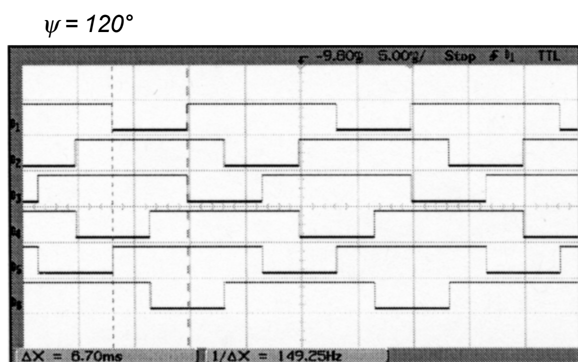
Tento princip řízení spínacích impulsů vysílaných na napěťový střídač zapojený v trojfázovém můstkovém spojení je používán dále popisovanou řídicí jednotkou při trojfázovém obdélníkově šířkovém řízení napětí.

Naměřené průběhy spínacích impulsů z popisované řídicí jednotky pro *ψ = 61°*, *ψ = 120°* a *ψ = 180°* jsou na obr. 1.9 (úhel *ψ = 61°* je nejmenší programový úhel, při kterém ještě spínají

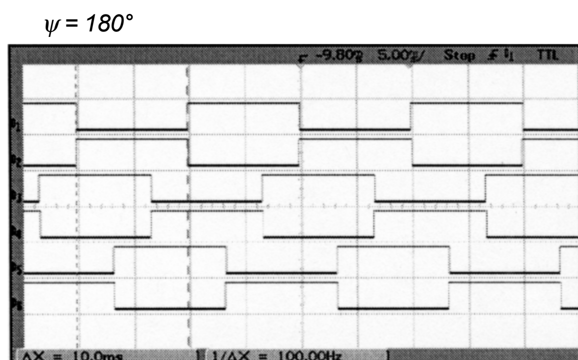
ψ = 61°



ψ = 120°

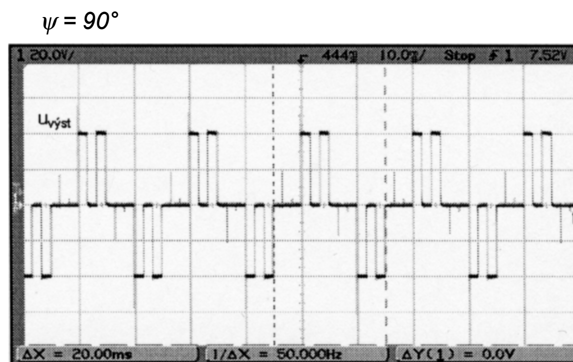


ψ = 180°

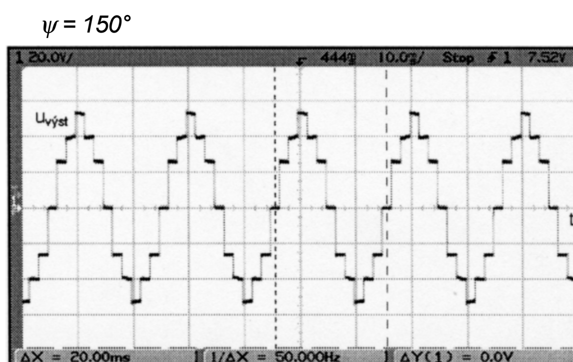


Obr. 1.9. Naměřené průběhy spínacích impulsů při trojfázovém obdélníkovém šířkovém řízení výstupního napětí (při výstupním kmitočtu 50 Hz)

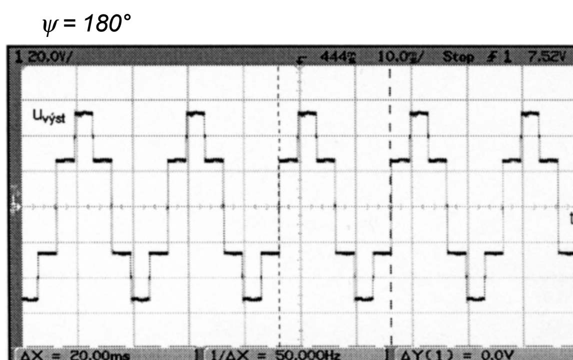
ψ = 90°



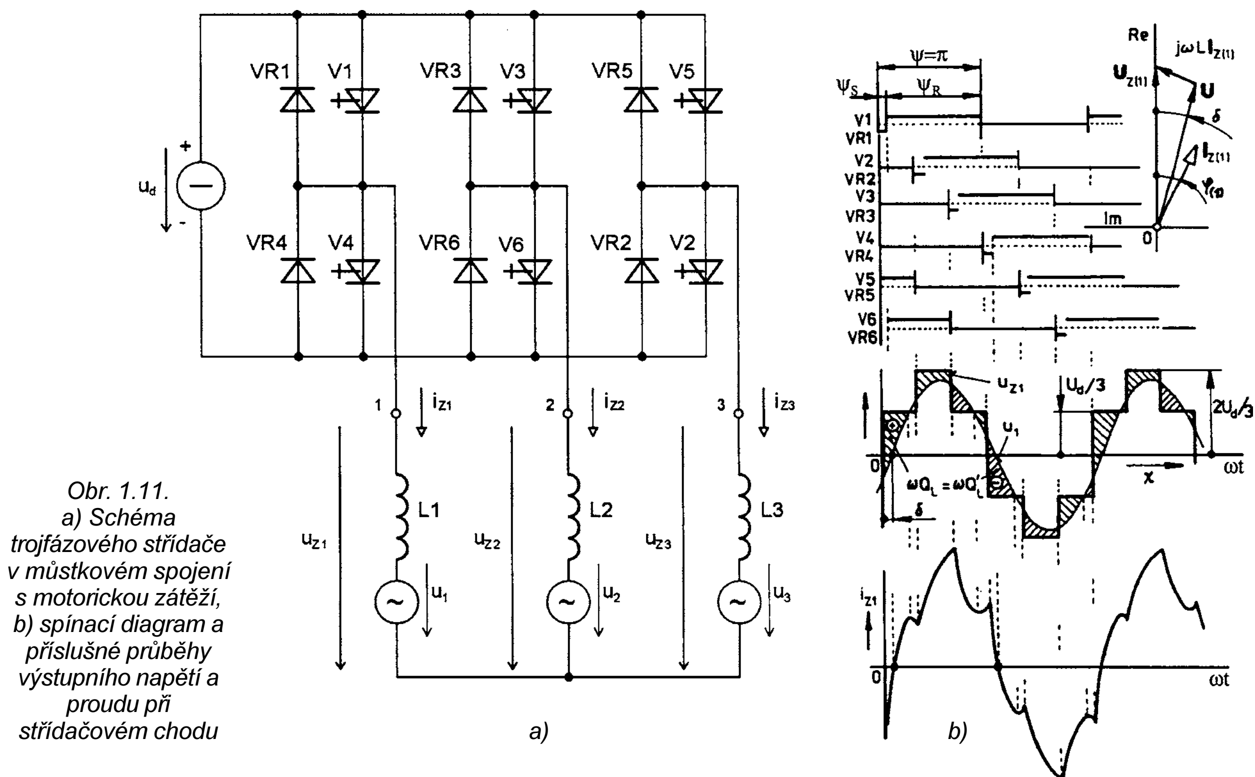
ψ = 150°



ψ = 180°

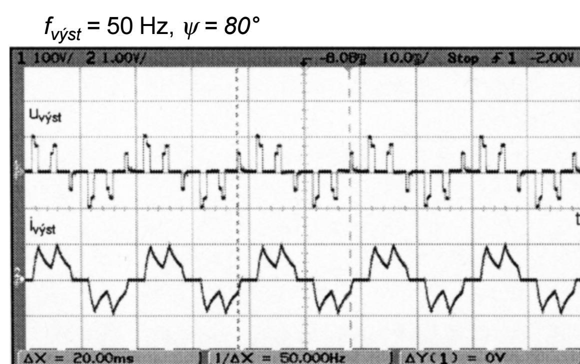


Obr. 1.10. Naměřené průběhy výstupního napětí na odporové zátěži při trojfázovém obdélníkovém šířkovém řízení výstupního napětí (při výstupním kmitočtu 50 Hz)

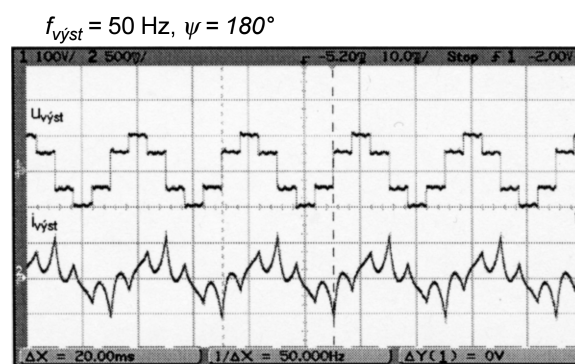


Obr. 1.11. a) Schéma trojfázového střídače v můstkovém spojení s motorickou zátěží, b) spínací diagram a příslušné průběhy výstupního napětí a proudu při střídačovém chodu

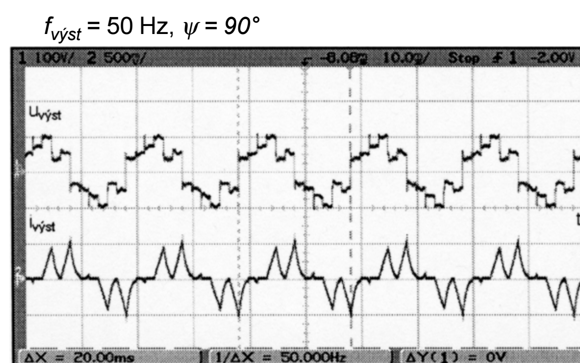
$f_{výst}$ = 50 Hz, ψ = 80°



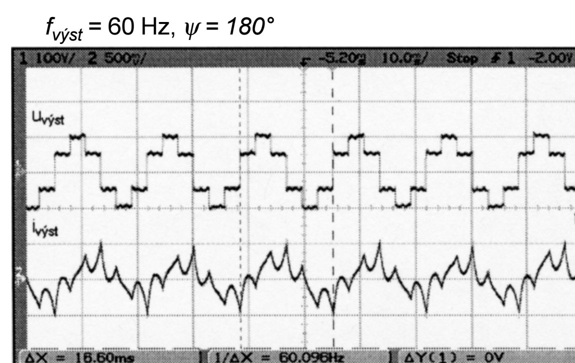
$f_{výst}$ = 50 Hz, ψ = 180°



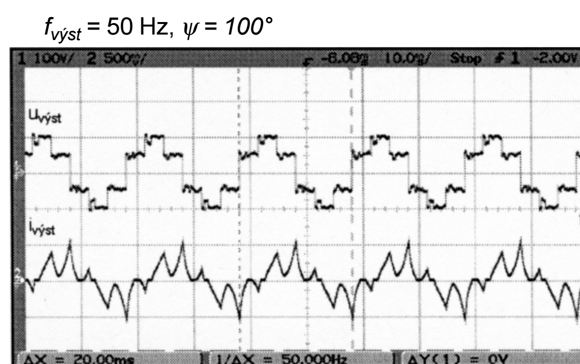
$f_{výst}$ = 50 Hz, ψ = 90°



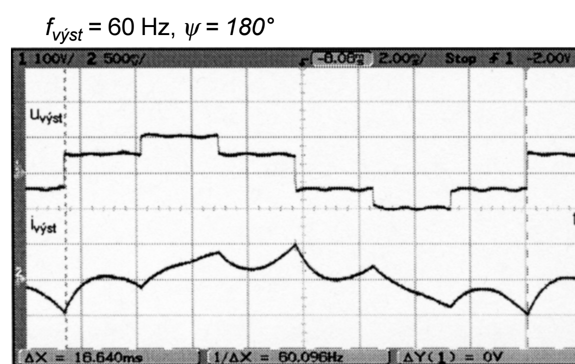
$f_{výst}$ = 60 Hz, ψ = 180°



$f_{výst}$ = 50 Hz, ψ = 100°



$f_{výst}$ = 60 Hz, ψ = 180°



Obr. 1.12. Naměřené průběhy výstupního fázového napětí $u_{výst}$ a proudu $i_{výst}$ na motorické zátěži při trojfázovém obdélníkovém šířkovém řízení výstupního napětí

současně dva spínače). Z průběhu pro $\psi = 61°$ lze také vidět, jak všech šest spínačů D1 až D6 spíná s odstupem elektrického úhlu 60° v pořadí D1, D6, D3, D2, D5 a D4. Na oscilogramu nebylo zachováno stejné písmenové ani číselné označení řídicích pulsů, jaké je na obr. 1.7. Stopa D1 (horní stopa na oscilogramu na obr. 1.9) je vlastně stopa V1 z obr. 1.7, stopa D2 (druhá stopa odshora na oscilogramu na obr. 1.9) je stopa V4 z obr. 1.7. Dále D3 = V3, D4 = V6, D5 = V5 a D6 = V2.

Průběhy výstupního fázového napětí při trojfázovém můstkovém spojení s odporovou zátěži pro $\psi = 90°$, $\psi = 150°$ a $\psi = 180°$ naměřené na napěťovém střídači řízeném dále popisovanou řídicí jednotkou jsou znázorněné na obr. 1.10.

1.4.2. Motorická zátěž

Poměry při zátěži typu motor jsou naznačeny na obr. 1.11. Zátěž obsahuje indukčnosti a zdroje harmonického napětí s kmitočtem rovným výstupnímu kmitočtu střídače.

Indukčnosti *L1*, *L2* a *L3* představují rozptyl stroje a zdroje harmonického napětí jsou obrazem vnitřního indukovaného napětí.

Na obr. 1.11. je uvažován střídačový chod a provoz při $\psi = \pi$. Průběh fázového napětí je stejný jako při odporové zátěži a nezávisí na spínání zpětných diod, neboť $\psi = \pi$. Jak je vidět z obr. 1.11b, tak při motorickém chodu je fázor první harmonické proudu $I_{Z(1)}$ zpožděn za $U_{Z(1)}$ o úhel $0 < \varphi < \pi/2$. Vlivem úbytku napětí na reaktanci $\omega \cdot L$ je fázor vnitřního indukovaného napětí U zpožděn za fázorem $U_{Z(1)}$. Tento výsledek je respektován v průbězích u_{Z1} a u_1 fáze jedna (viz [8]).

Průběhy výstupního fázového napětí a proudu při trojfázovém můstkovém spojení s motorickou zátěži naměřené na napěťovém střídači, který je řízen dále popisovanou řídicí jednotkou, jsou na obr. 1.12.

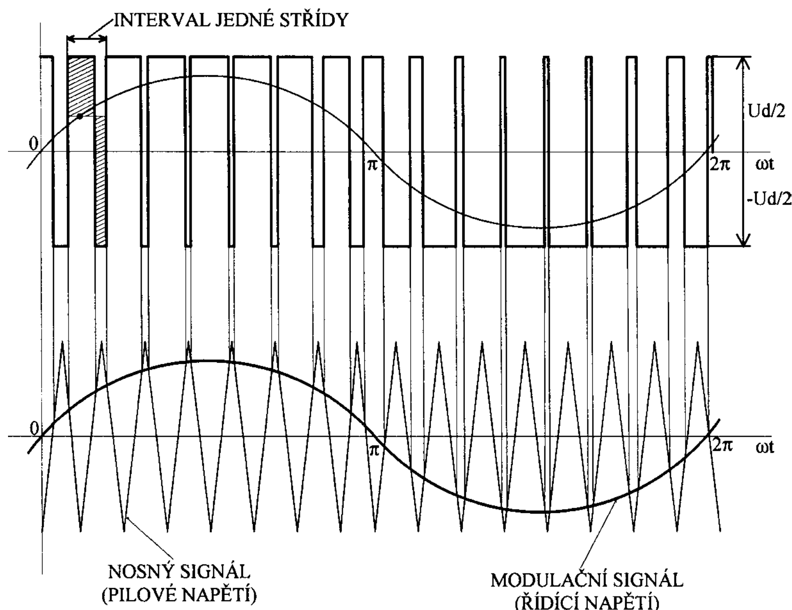
Měření bylo provedeno pro různé programové úhly ψ. Záměrně byly vybrány menší velikosti programových úhlů, na kterých lze ještě sledovat změnu tvaru průběhů výstupního napětí a výstupního proudu.

V pravém bloku na druhém místě odshora je zobrazen průběh napětí a proudu při výstupní frekvenci 60 Hz, na třetím místě odshora je pak tento průběh ukázán detailně v úseku jedné periody.

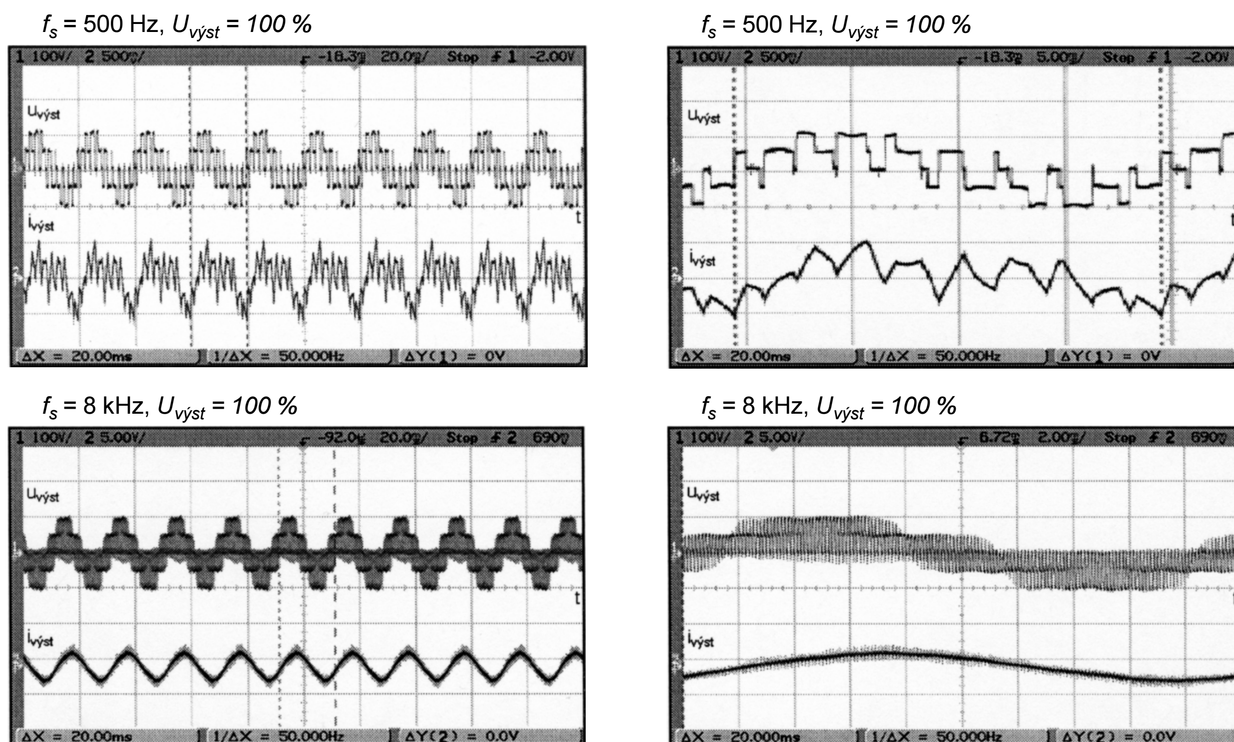
1.5. Princip komparační šířkově pulsní modulace

Komparační sinusová šířkově pulsní modulace (PWM) je založena na principu srovnání vysokofrekvenčního nosného signálu (pilovitého napětí) s nízkofrekvenčním modulačním signálem (řídicím napětím). Uvedený princip je patrný z obr. 1.13.

Pokud budeme uvažovat jednofázové můstkové spojení podle obr. 1.6a, porovnává se jeden nízkofrekvenční modulační signál s vysokofrekvenčním

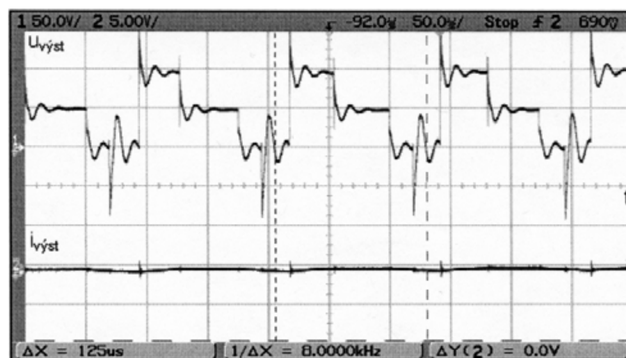


Obr. 1.13. princip komparační šířkově pulsní modulace



Obr. 1.14. Naměřené průběhy výstupního fázového napětí $u_{výst}$ a proudu $i_{výst}$ na motorické zátěži při trojfázovém komparačním PWM řízení výstupního napětí. f_s je spínací kmitočet nosného signálu,výstupní kmitočet je 50 Hz

Obr. 1.15. Detail průběhu výstupního fázového napětí a proudu z oscilogramu vpravo dole na obr. 1.14 (několik period spínacího kmitočtu f_s)



nosným signálem. Pak jsou současně sepnuty spínače V1, V2 nebo V3, V4 a v okamžicích rovnosti nosného a modulačního signálu se přepínají zapínací impulsy těchto dvou dvojic. Tzn., že pokud byly sepnuty V1 a V2, v určitém okamžiku se vypnou, a ve stejném okamžiku přechází dvojice V3 a V4 z vypnutého stavu do sepnutého.

Pokud budeme uvažovat trojfázové můstkové spojení podle obr. 1.11a, porovnávají se tři nízkofrekvenční modulační signály vzájemně posunuté o 120° s vysokofrekvenčním nosným signálem. Při dosáhnutí stejné úrovně modulačního a nosného signálu je vyslán impuls, který sepne horní nebo dolní spínač v příslušné větvi střídače. Tzn., že se navzájem zaměňuje stav spínačů V1 a V4, V3 a V6 a V5 a V2 v jednotlivých větvích. Je-li např. zapínací impuls na V1, vede V1 nebo VR1 (záleží na smyslu fázového proudu zátěže) a V4 je vypnutý. Je-li zapínací impuls na V4, vede V4 nebo VR4 a spínač V1 je vypnutý. Fázové napětí střídače pak nabývá střídavě velikosti $U_d/2$ a $-U_d/2$ tak, jak je naznačeno na obr. 1.13.

Zbývající dvě fáze se řídí podobným způsobem.

Při požadavku maximálního výstupního napětí střídače je amplituda modulačního signálu zvětšena až na velikost amplitudy nosného signálu. Z toho vyplývá, že amplituda 1. harmonické fázového napětí střídače může maximálně dosáhnout hodnoty $0{,}5 \cdot U_d$ a amplituda 1. harmonické sdruženého napětí pak má velikost $0{,}886 \cdot U_d$ (viz [8]).

Naměřené průběhy výstupního fázového napětí a proudu na motorické zátěži při trojfázovém komparačním PWM řízení výstupního napětí dále popisovanou řídicí jednotkou jsou na obr. 1.14.

Průběhy byly změřeny při dvou různých spínacích frekvencích f_s. V levém bloku jsou průběhy zobrazeny jako několik period výstupního kmitočtu 50 Hz, v pravém bloku je pak ukázán detailní průběh jedné periody.

Z obrázků je vidět, že při vyšší spínací frekvenci se průběh výstupního proudu více blíží sinusovému tvaru. Pro f_s = 500 Hz je počet sepnutí na jednu periodu 10, pro f_s = 8 kHz má toto číslo velikost 160.

Ještě detailnější zobrazení průběhu výstupního fázového napětí a proudu z oscilogramu vpravo dole na obr. 1.14 je na obr. 1.15, na kterém je zachyceno několik period spínacího kmitočtu f_s = 8 kHz.

2. Řídicí jednotka trojfázového střídače

Blokové schéma nepřímého měniče kmitočtu s napěťovým střídačem a řídicí jednotkou pro trojfázový asynchronní motor je na obr. 2.1.

Měnič obsahuje zdroj stejnosměrného napájecího napětí u_d, který je tvořen trojfázovým oddělovacím transformátorem T1, můstkovým usměrňovačem s diodami VD1 až VD6 a filtračním kondenzátorem C1 s poměrně velkou kapacitou. Tím je také určeno, že stejnosměrný obvod se vzhledem ke střídači chová jako zdroj napětí.

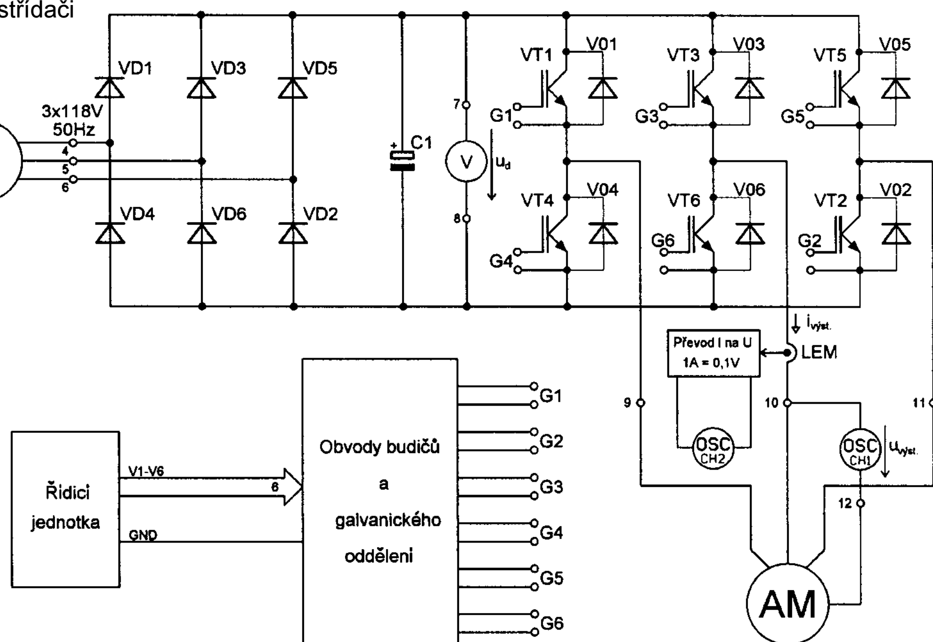
Další částí měniče kmitočtu je trojfázový střídač v můstkovém spojení, který obsahuje spínací tranzistory (IGBT) VT1 až VT6 a zpětné diody V01 až V06. K výstupním svorkám *9*, *10* a *11* střídače je připojen trojfázový asynchronní motor AM, který je napěťovým střídačem řízen.

Na obrázku je naznačeno i připojení dvou kanálů osciloskopu, kterým se měří průběh výstupního fázového napětí $u_{výst}$ a proudu $i_{výst}$ (proud se snímá proudovou sondou LEM, která mění proud na napětí a galvanicky odděluje osciloskop).

Spínací tranzistory střídače jsou ovládány řídicí jednotkou, která generuje řídicí impulsní signály V1 až V6.

Řídicí signály jsou vedeny na hradla tranzistorů střídače přes blok budičů a oddělovačů, ve kterém jsou signály výkonově zesilovány a který galvanicky odděluje řídicí jednotku od spínacích tranzistorů.

Dále se budeme zabývat pouze řídicí jednotkou, která tvoří „srdce“ celého měniče kmitočtu.



Obr. 2.1. Blokové schéma měniče kmitočtu. Je naznačeno připojení motorické zátěže a osciloskopu pro měření fázového napětí $u_{výst}$ a proudu $i_{výst}$ na zátěži. Průběhy $u_{výst}$ a $i_{výst}$ pro určité režimy řízení jsou zachyceny na obr. 1.12 a obr. 1.14

Řídicí jednotka umožňuje obdélníkové šířkové i komparační PWM řízení výstupního napětí střídače, a to v jednofázovém i trojfázovém spojení.

Při obdélníkovém šířkovém řízení výstupního napětí lze nastavit:

- Programový úhel v rozsahu 1° až 180° při jednofázovém spojení a v rozsahu 61° až 180° při trojfázovém spojení.
- Výstupní frekvenci v rozsahu 1 Hz až 90 Hz při jednofázovém i trojfázovém spojení.

Při jednofázovém i trojfázovém komparačním šířkově pulsně modulovaném (PWM) řízení výstupního napětí lze nastavit:

- Výstupní spínací frekvenci 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 1,5 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz a 8 kHz.
- Výstupní napětí v rozsahu 1% až 100 %.
- Výstupní frekvenci v rozsahu 1 Hz až 100 Hz.

V následující části je blokově ukázána struktura řídicí jednotky a pak jsou jednotlivé bloky popsány podrobněji.

2.1. Bloková struktura řídicí jednotky

Blokové schéma řídicí jednotky je na obr. 2.2. Systém můžeme rozdělit do čtyř hlavních bloků:

- Uživatelské rozhraní.
- Komunikace s uživatelským rozhraním.
- Řídicí systém tvorby pulsů.
- Obvody úpravy, rozdělení a blokování pulsů.

Prvním předpokladem funkčnosti celého systému je to, že se musí umět dorozumět se s obsluhou. K tomu slouží **uživatelské rozhraní**, které se skládá ze znakového zobrazovače LCD (dva řádky po šestnácti znacích) a čtyř tlačítek (Escape, Enter, Up a Down). Pomocí tlačítek obsluha vybírá a nastavuje parametry určující, jak se dané řízení bude provádět.

Blok **komunikace s uživatelským rozhraním** obsahuje mikropočítač AT89C52, který je pověřen správným zpracováním zvolených parametrů a jejich zobrazením na zobrazovači LCD. S mikropočítačem SAB80C535 v bloku tvorby pulsů se AT89C52 dorozumívá tzv. přenosovým protokolem (tj. předpisem, který určuje v jakém formátu budou data posílána) po sériové lince RS232. Byl navržen vlastní předpis formátu dat tak, aby splňoval potřebné požadavky. Pro přenos dat mezi oběma mikropočítači a sériovou linkou RS232 je použit převodník MAX232.

V další bloku s názvem **řídicí systém tvorby pulsů** jsou mikropočítačem SAB80C535 generovány pulsy pro řízení tranzistorů střídače a binární signály pro ovládání těchto pulsů.

Po odvysílání přenosového protokolu mikropočítačem AT89C52 následuje zpracování tohoto protokolu mikropočítačem SAB80C535. Dříve, než se začne věnovat generování pulsů, musí rozlišit, o jaký druh řízení střídače se jedná, a uložit si hodnoty, které uživatel nastavil. Pokud je potřeba, převádí je do správné podoby, kterou mají před samotným spuštěním generování pulsů mít.

Z bloku řídicího systému tvorby pulsů vstupují pulsy do bloku **obvodů úpravy, rozdělení a blokování pulsů**. Ten se skládá z několika částí. Nejprve se jedná o *budiče sběrnice*, které mají za úkol pulsy výkonově posílit, aby se s nimi v bloku *úpravy pulsů* mohlo dále pracovat. Poté následuje blok *výběru řízení*, ve kterém se volí jeden ze čtyř druhů řízení výstupního napětí:

- jednofázové obdélníkové šířkové,
- třífázové obdélníkové šířkové,
- jednofázové komparační PWM,
- třífázové komparační PWM.

Na výstupu bloku *výběru řízení* mají spínací pulsy již správně definovaný tvar. Poslední úpravy nastávají v bloku *ošetření mrtvých časů*. Nakonec je rozkmit pulsů zvětšen z úrovně TTL na 15 V v bloku *přizpůsobení výstupu*, aby se řídicí jednotka přizpůsobila napěťovému střídači, pro který je určena.

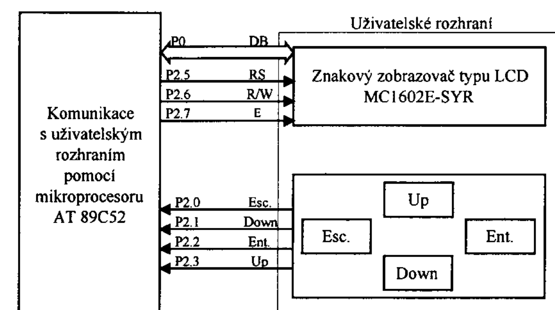
V celém tomto zapojení nechybí ani *obvody generující blokování pulsů* a blok pro *spouštění a blokování pulsů*, který umožňuje spuštět pulsy generované mikropočítačem SAB80C535.

2.2. Popis funkce jednotlivých bloků

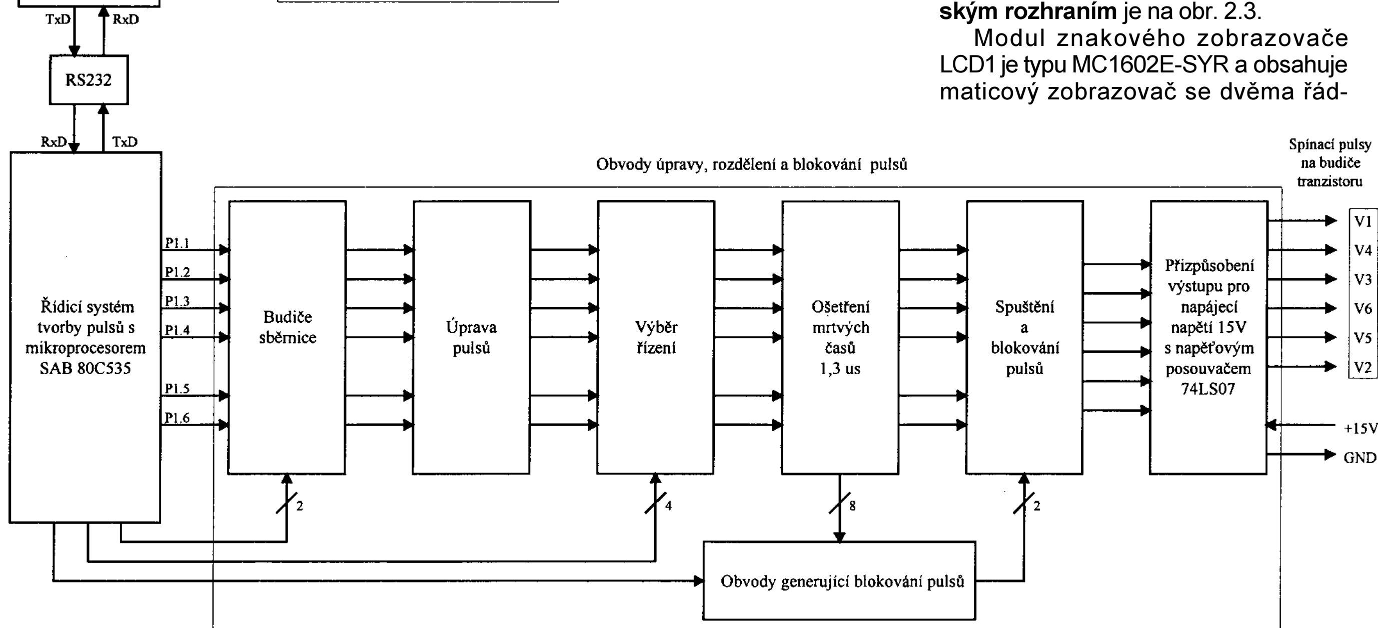
2.2.1. Blok uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní slouží pro komunikaci mezi obsluhou a řídicí jednotkou. Je vybavené znakovým zobrazovačem LCD a čtyřmi tlačítky. Tlačítka a znakový zobrazovač jsou umístěny na společné desce s mikroprocesorem AT89C52 z bloku **komunikace s uživatelským rozhraním**, který se zobrazovačem a tlačítky komunikuje. Podrobné schéma bloků **uživatelské rozhraní** a **komunikace s uživatelským rozhraním** je na obr. 2.3.

Modul znakového zobrazovače LCD1 je typu MC1602E-SYR a obsahuje maticový zobrazovač se dvěma řád-



Obr. 2.2. Blokové schéma řídicí jednotky trojfázového střídače



*Obr. 2.3. Schéma bloků **uživatelské rozhraní** a **komunikace s uživatelským rozhraním** řídicí jednotky*

kami po šestnácti znacích. LCD zobrazovač je ovládán řadičem HD44780 nebo ekvivalentním.

Mikroprocesor AT89C52 komunikuje s řadičem HD44780 přes osmibitovou obousměrnou datovou sběrnici (DB0 až DB7) a řídí jeho činnost třemi řídicími signály RS, R/W a E. Řadič je k mikroprocesoru připojen k portům P0.0 až P0.7 a P2.5 až P2.7.

Řadič HD44780 je vybaven vnitřními obvody nulování (RESET), které řadič vynulují po náběhu napájecího napětí. Po vynulování instrukce automaticky provedou v HD44780 základní nastavení, které je úspěšné pouze tehdy, pokud doba náběhu napájecího napětí z 0,2 do 4,5 V je rozsahu 0,1 až 10 ms. Jestliže tato podmínky není splněna, interní nulování nefunguje správně. Pokud správný náběh napájení nelze zaručit a zároveň i základní nastavení řadiče nevyhovuje našim požadavkům, je doporučeno programové vynulování. Provádí se hned na začátku programu, který má maticový displej ovládat, a tím se ušetří pozdější potíže s komunikací při pomalejším náběhu napájecího napětí, než je výrobcem předepsáno.

Pro správné nastavení kontrastu displeje je třeba na vývodu V0 nastavit napětí mezi 0 až 5 V. Pokud chceme eliminovat vliv teploty na nastavení kontrastu LCD, musí se brát v úvahu i teplotní koeficient napětí V0, který je pro většinu displejů okolo -14 mV/K. V zapojení podle obr. 3.3 se využívá teplotního koeficientu k_{BE} (k_{BE} = -2 mV/K) napětí přechodu báze-emitor tranzistoru VT1, které je $VT1_{BE}$ = 0,7 V. Pokud volíme *R4* = 6x *R6*, pak je na tranzistoru napětí $VT1_{CE}$ = 4,9 V s teplotním koeficientem právě k_{CE} = -14 mV/K. Trimrem R5 se nastavuje napětí V0, a tím se ovládá kontrast displeje (viz [3]).

Podrobně jsou vlastosti řadiče HD44780 a způsob jeho komunikace s mikroprocesorem popsány v lit. [3].

K ovládání řídicí jednotky slouží čtyři tlačítka TL1 (Esc.), TL2 (Down), TL3 (Ent.) a TL4 (Up). Pomocí těchto tlačítek se může uživatel libovolně pohybovat v menu, nastavovat konkrétní parametry a spouštět a vypínat chod napěťového střídače.

Položky v menu se vybírají a konkrétní hodnoty se nastavují tlačítky TL2 (Down) a TL4 (Up). Nastavené hodnoty se potvrzují a napěťový střídač se spouští stisknutím tlačítka TL3 (Ent.). Do předchozí nabídky v menu se vrací tlačítkem TL1 (Esc.).

Běžným problémem, se kterým se u tlačítek můžeme setkat, jsou zákmity. Příčinou vzniku zákmitů je pružnost kontaktů tlačítka. Pokud obsluha stiskne tlačítko, jsou kontakty nejdříve spojeny a poté ještě několikrát rozpojeny a zase spojeny, než se kontakt ustálí a tlačítko zůstane spojeno trvale. Pokud na výstup tlačítka připojíme hodinový vstup nějakého sekvenčního obvodu, bude jeden stisk tlačítka považován za několik desítek či stovek impulsů.

Řešení tohoto problému je zřejmé z obr. 2.3. Každé tlačítko je ošetřeno filtrem typu dolní propust (RN1, C1 až C4). Volbou hodnot součástek mají dolní propusti nastaven mezní kmitočet 10 Hz, takže dobře potlačují rychlé zákmity kontaktů a přitom příliš nezpomalují odezvu systému na stisknutí tlačítka. Analogový signál z filtrů je pak převeden do pravoúhlého tvaru Schmittovými klopnými obvody U2A až U2D.

Tlačítka jsou k mikroprocesoru připojena k portům P2.0 až P2.3.

2.2.2. Blok komunikace s uživatelským rozhraním

Mikroprocesory způsobily ve vývoji elektroniky doslova revoluci stejně, jako v minulosti první tranzistor.

Na rozdíl od procesorů určených pro aplikace v osobních počítačích se dynamicky rozvíjí speciální kategorie mikroprocesorů určených pro aplikace v oblasti řízení, měření, předzpracování dat atd., u kterých je snaha sloučit více funkcí na jeden čip.

Obvodům, které mají na čipu integrovanou paměť programu, paměť dat, hodinový oscilátor, sériový kanál, vstupně/výstupní obvody a mnohé jiné

funkce, jako např A/D a D/A převodník, Watch Dog apod., již přináleží název mikrokontrolér nebo jednočipový mikropočítač.

Na počátku byla populární řada 8035 od firmy Intel a později řada 8051. Díky vynikajícím vlastnostem byly a ještě jsou i nyní tyto obvody používány ve velice širokém rozsahu. O rozšíření těchto jednočipových mikropočítačů, které jsou s „INTELovskou" řadou plně kompatibilní, se zasloužila i firma ATMEL, která je neustále vyvíjí a rozšiřuje.

Jejich kompatibilita sahá až do takových detailů, že je možné vzít např. AT89C51 a vložit ho místo klasického 8051 - a on bude bez problému pracovat.

Velice důležitá je i možnost využít vývojové prostředky pro řadu 8051, kterých je dnes již mnoho. Rovněž tak je i dostatek literatury o těchto jednočipových mikropočítačích.

Architektura jednočipových mikropočítačů ATMEL je zřejmá z jejich blokového schématu na obr. 2.4.

Mikropočítače řady AT89C se skládají z těchto částí:

- Osmibitová centrální procesorová jednotka (CPU).
- Paměť programu (FLASH EPROM).
- Paměť dat (RAM).
- Programovatelné paralelní V/V obvody (4 I/O PORTS).
- Blok čítačů/časovačů (TIMER0, TIMER1, ...).
- Obvody časování (OSC).
- Sériový V/V obvod (UART PORT).
- Přerušovací podsystém (INTERRUPT CONTROL).

V mikropočítačích řady AT89S přibyly následující části:

- Sériová paměť (EEPROM).
- Řadič sériové sběrnice (SPI).
- Hlídač činnosti (Watch Dog).

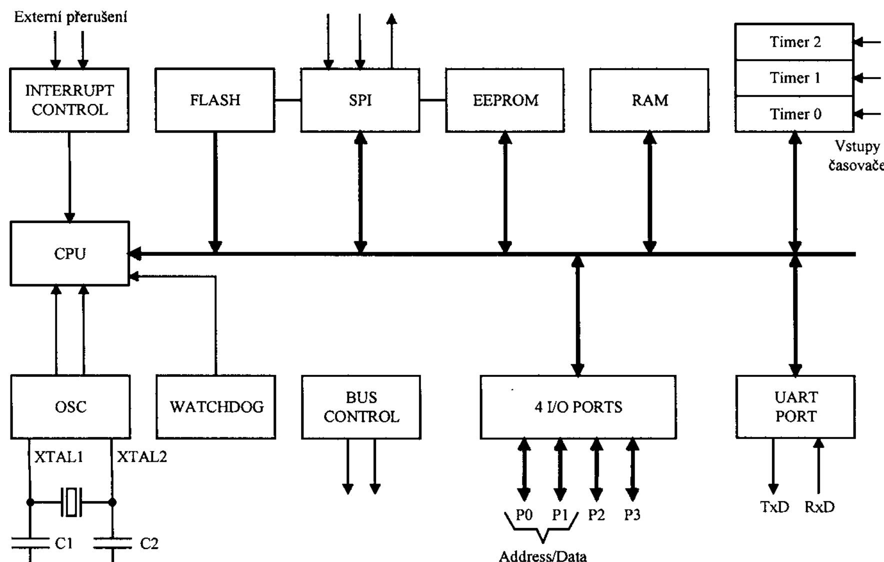
Jednotlivé části mikropočítače jsou propojeny interní osmibitovou sběrnicí, která slouží pro přenos dat a instrukcí (viz [4]).

Všechny jednočipové mikropočítače firmy ATMEL mají adresový prostor programu oddělený od adresového prostoru dat. Jedná se tedy o Harwardské uspořádaní. Toto oddělení poskytuje přístup k datům v interní paměti dat prostřednictvím osmibitové adresace, čímž se zrychluje ukládání dat a manipulace s nimi osmibitovou centrální procesorovou jednotkou (CPU).

Velkou výhodou mikropočítačů obsahujících paměť Flash je jejich lehké přeprogramování, které usnadňuje práci s odlaďováním programu. Této vlastnosti se využívá především tehdy, když není možné pracovat se simulátorem paměti.

Schéma bloku **komunikace s uživatelským rozhraním** je na obr. 2.3.

Komunikaci obstarává mikropočítač ATMEL typu AT89C52, který má tyto vlastnosti:



Obr. 2.4. Blokové schéma mikropočítačů ATMEL

- Interní paměť RAM 256 B.
- Externí paměť dat až 64 kB.
- Interní paměť Flash EPROM 8 kB.
- Externí paměť programu až 64 kB.
- Kmitočet oscilátoru 0 až 24 MHz.
- 32 programovatelných I/O linek.
- Tři šestnáctibitové čítače/časovače.
- 9 zdrojů přerušení.
- Programovatelný sériový kanál.
- Módy IDLE, PD.
- Je vyroben echnologií CMOS.
- Má napájecí napětí +5 V.

Kmitočet oscilátoru f_{OSC} určuje krystal BX1 o kmitočtu 18,432 MHz.

Jeden strojní cyklus trvá 12 period oscilátoru, což znamená, že provedení jednocyklové instrukce trvá 651 ns.

Protože není třeba využívat externí paměť programu a tato paměť není tedy ani připojena, je vstup /EA mikropočítače připojen přes rezistor R1 na úroveň „log. 1" (VCC).

Pro sériovou komunikaci s mikropočítačem SAB80C535 v bloku **řídicí systém tvorby pulsů** je použita rychlost 14769 Bd, kterou SAB80C535 s použitým krystalem 18,432 MHz vyžaduje.

Tuto přenosovou rychlost generuje AT89C52 jedním z vnitřních čítačů/časovačů. Přenosová rychlost v_{3BR} je určena obsahem záchytných registrů RCAP2H a RCAP2L (obsah registrů je šestnáctibitové celé kladné číslo) podle vztahu:

$$v_{3BR} =$$

$$= f_{OSC}/\{32 \cdot [65536 - (RCAP2H, RCAP2L)]\} =$$

$$= 18432000/[32 \cdot (65536 - 65497)] =$$

$$= 14769 \text{ Bd} \qquad [\text{Bd; Hz, -, -, -}]$$

Pro sériovou komunikaci mezi mikropočítači je nutné převést úrovně TTL na úrovně sériové linky RS232 (V24). Tuto funkci obstarává IO U3 typu MAX232, který obsahuje dva převodníky.

Úrovni „log. 1" v TTL odpovídá napětí -3 až -15 V na lince V24, úrovni „log. 0" v TTL odpovídá napětí +3 až +15 V na lince V24.

Obvod MAX232 ke své práci vyžaduje pouze napájecí napětí +5 V, záporné a vyšší kladné napětí si generuje sám nábojovou pumpou, k jejíž činnosti slouží kondenzátory C6 až C9.

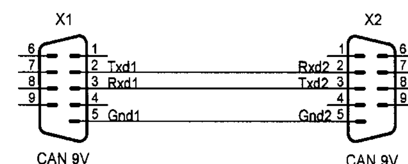
Mezi bloky je sériová linka vedena stíněným kabelem RG-MD137. Na konce kabelu jsou připájené vidlice CAN 9 V s pájecími žlábky. Konektory jsou opatřené kryty CAN 9. Zapojení konektorů (vidlic) je na obr. 2.5.

Mikropočítač AT89C52 je nutné po přivedení napájecího napětí vynulovat (RESET). Nulovací signál musí být aktivní nejméně po dva strojové cykly (tj. po 24 period oscilátoru) v době činnosti oscilátoru. K nulování slouží kondenzátor C12, který zaručuje, že po zapnutí napájení je na vstup RST (pin 9) krátkodobě přivedeno napětí +5 V (VCC). Rezistor R2 určuje rychlost nabití C12 a tím definuje délku nulování.

Mikropočítač AT89C52 je vybaven čtyřmi obousměrnými branami (porty) P0 až P4, kde každou bránu tvoří záchytné klopné obvody, výstupní budiče a vstupní vyrovnávací paměť.

I když zapojení vstupně/výstupního obvodu každé brány je poněkud odlišné, je pouze brána P0 typickou obousměrnou branou, zatímco brány P1, P2 a P3 jsou tvořeny tzv. pseudoobousměrným obvodem.

Výstup pseudoobousměrného obvodu je tvořen tranzistorem s otevřeným kolektorem a integrovaným rezistorem o odporu asi 50 kΩ. Při použití některé z těchto bran (nebo jen jednoho z jejich bitů) jako vstupní (tj. při čtení stavu jejího vstupu) je třeba tyto výstupní



Obr. 2.5. Zapojení konektorů kabelu sériové linky

tranzistory nastavit do úrovně „log. 1“. Pokud by zůstaly výstupy portu v úrovni „log. 0“ a čtené zařízení mělo na výstupu úroveň „log. 1“, mohl by pak procházející proud zničit výstupní tranzistor, který je v mikropočítači integrován.

Výstupy bran se nastavují do úrovně „log. 1“ programově. Brána P2, u které se bity P2.0 až P2.3 využívají k testování, zdali není některé tlačítko stisknuté, je programově nastavena do úrovně „log. 1“ trvale a zároveň je k ní připojena rezistorová síť RN2. Brána P0 využívá obousměrnou komunikaci při čtení bitu P0.7 (příznaku BF od znakového zobrazovače LCD), proto je výstup podle potřeby nastavován programově. Rezistorová síť RN3 zaručuje na bráně P0 stále definované některé z logických úrovní 0 nebo 1.

Pro případné další využití jsou některé nevyužité signály z mikropočítače vyvedeny na kontaktní kolíky SV1a SV2. Ke kontaktním kolíkům JP1 lze připojit nulovací tlačítko.

Napájecí napětí +5 V je blokováno několika kondenzátory, které musí být umístěny co nejblíže k napájecím vývodům všech IO i znakového zobrazovače LCD.

Všechny součástky bloků **uživatelské rozhraní** a **komunikace s uživatelským rozhraním** jsou společně umístěny na samostatné desce s jednostrannými plošnými spoji. Deska je zkonstruována tak, aby ji bylo možné umístit pod přední panel skříňky řídicí jednotky a bylo možné ovládat tlačítka a číst ze zobrazovače.

Obvody na desce jsou zcela univerzální a lze je použití nejen v této realizaci, ale po úpravě programu i všude tam, kde postačí k ovládání nějakého zařízení čtyři tlačítka, zobrazovač typu LCD a komunikace sériovým kanálem.

2.2.3. Blok s označením řídicí systém tvorby pulsů

V tomto bloku generuje mikropočítač SAB80C535 řídicí pulsy (v hrubé podobě) pro trojfázový střídač. Mikropočítač je vybaven programem s vhodně navrženými algoritmy pro zvolené způsoby řízení.

Mikropočítač SAB80C535 od firmy SIEMENS je rozšířenou a zdokonalenou verzí, která vychází z architektury velmi populárního osmibitového mikroprocesoru 8051.

Vnitřní struktura mikropočítače SAB80C535 je zřejmá z obr. 2.6.

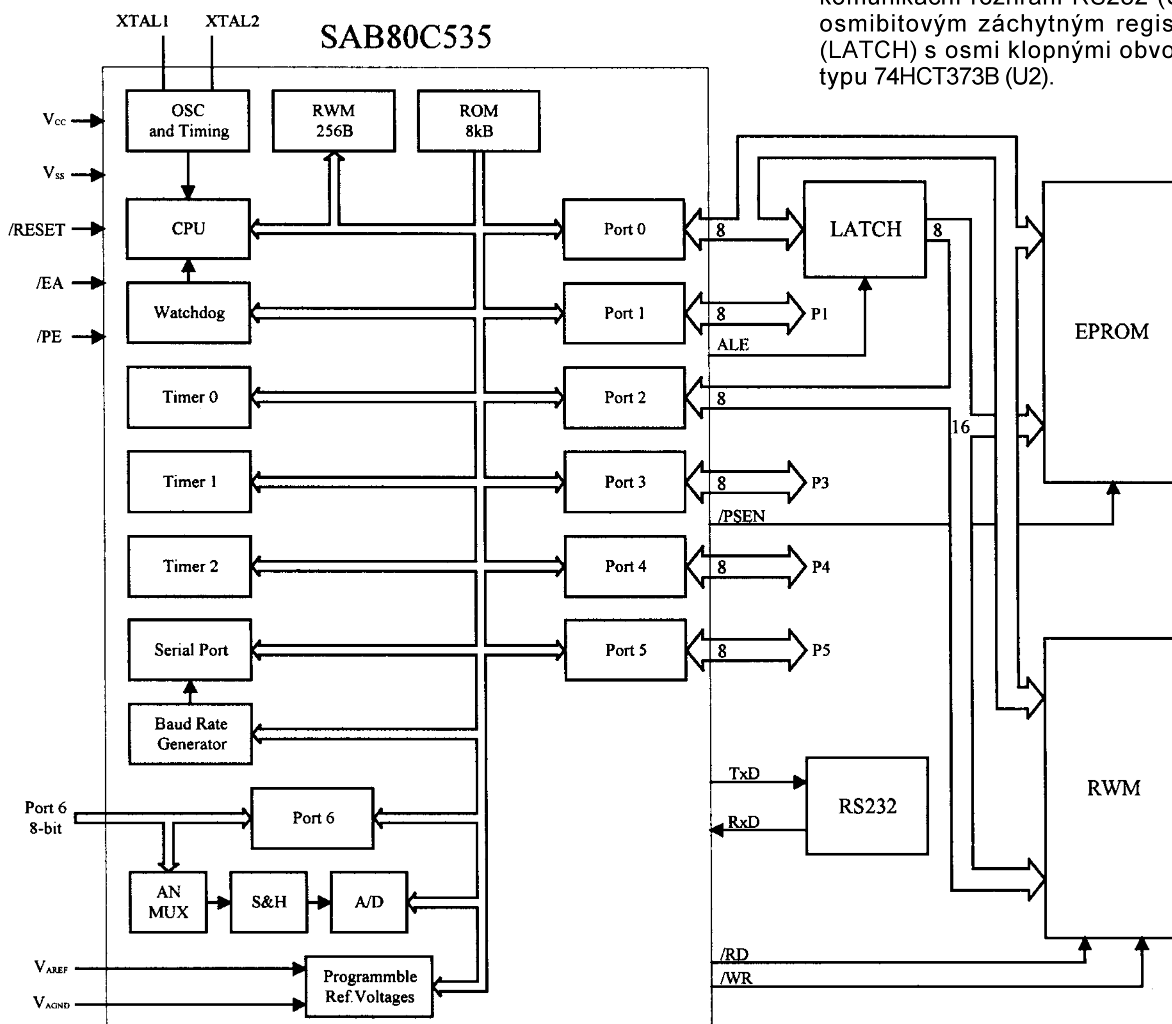
Mikropočítač SAB80C535 charakterizují následující základní vlastnosti:

- Osmibitová centrální procesorová jednotka (CPU).
- Vestavěný Booleovský procesor.
- Obvody hodin a oscilátoru na čipu.
- Doba strojového cyklu 651 ns (s použitým krystalem 18,432 MHz).
- Výstup frekvence strojového cyklu.
- Registry speciálních funkcí.
- Vnitřní paměť dat 256 B.
- Přímo adresovatelná paměť programu 128 B.
- Nepřímo adresovatelná paměť programu 128B.
- Možnost adresace až 64 KB vnější paměti programu a dat.
- Tři šestnáctibitové čítače/časovače.
- Osmikanálový A/D převodník.
- Čtyři úrovně přerušení s možnostmi až 12 zdrojů přerušení.
- Plně duplexní sériový kanál s vlastním generátorem přenosové rychlosti. Přenosová rychlost je odvozena z kmitočtu oscilátoru.
- Šestnáctibitový čítač Watch Dog.

Všechny periferie mikropočítače jsou podrobně popsány v lit. [7].

Blokové schéma **řídicího systému tvorby pulsů** je na obr. 2.6, podrobné schéma je na obr. 2.7.

Mikropočítač SAB80C535 (U1) je doplněn pamětí EPROM 32 KB typu M27C256B (U4), pamětí typu RWM 8 KB typu UT6264CPC (objímka DIL25), převodníkem napěťových úrovní pro komunikační rozhraní RS232 (U3) a osmibitovým záchytným registrem (LATCH) s osmi klopnými obvody D typu 74HCT373B (U2).



*Obr. 2.6. Blokové schéma **řídicího systému tvorby pulsů** s mikropočítačem SAB80C535*

*Obr. 2.7. Schéma bloku **řídicí systém tvorby pulsů** s mikroprocesorem SAB80C535*

Záchytný registr je použit k ukládání nižších osmi bitů šestnáctibitové adresy, protože mikropočítač SAB80C535 využívá vstupně/výstupní port P0 buď jako datovou sběrnici, nebo spolu se vstupně/výstupním portem P2 jako adresovou sběrnici.

Mikropočítač SAB80C535 se nuluje tlačítkem SA2 (RESET) s červeným hmatníkem, které je umístěno na předním panelu skříňky řídicí jednotky. Vynulováním se všechny registry speciálních funkcí nastaví do výchozího stavu. Stisknutím tlačítka RESET se též okamžitě zablokují (přeruší) výstupní pulsy, které řídí napěťový střídač.

Vstupně/výstupní brány a některé další vybrané vývody mikropropočítače U1 jsou vyvedeny na konektory CN1 a CN2. Přes konektor CN1 (zásuvka - dvouřadá dutinková lišta) je k bloku **řídicího systému tvorby pulsů** připojen blok **obvodů úpravy, rozdělení a blokování pulsů**.

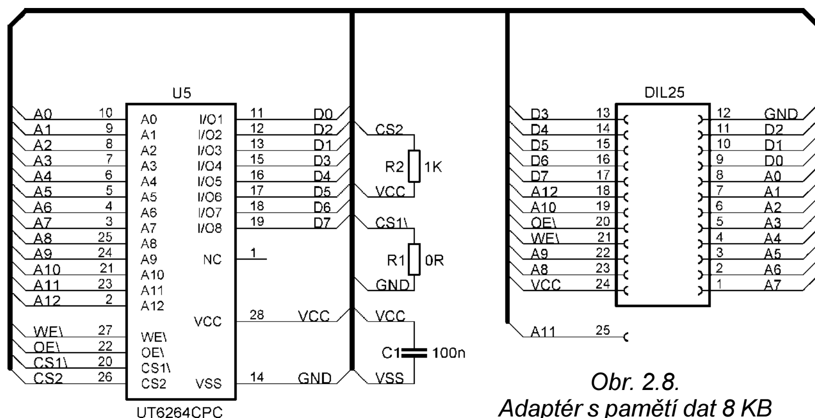
Při vývoji a odlaďování softwarového vybavení byl na místě paměti EPROM (U4) použit simulátor této paměti.

Při řízení napěťového střídače musí mikropočítač podle zadaných parametrů předem vypočítat konstanty řízení. Konstanty se počítají podle tabulek uložených v paměti programu a ukládají do vnější paměti dat. Pro maximální rozsah řízení je potřebná paměť dat 8 KB. Protože však blok řídicího systému byl původně navržen (i s deskou s plošnými spoji) pro paměť dat 2 KB, bylo nutné pro paměť dat 8 KB schéma i desku s plošnými spoji upravit. Na vývod *18* objímky DIL25 (do které byla původně vložena paměť dat 2 KB) byl připojen adresový bit A12 a vedle objímky byla umístěna dutinka (označená jako vývod *25*), na kerou byl připojen adresový bit A11. Do takto upravené objímky DIL25 pak byl vložen adaptér s pamětí dat 8 KB, jehož schéma je na obr. 2.8.

Všechny součástky bloku **řídicího systému tvorby pulsů** jsou umístěny na samostatné desce s oboustrannými plošnými spoji.

3.2.4. Blok s označením obvody úpravy, rozdělení a blokování pulsů

Schéma tohoto bloku je na obr. 2.9. Konektorem CN1 vstupují do bloku řídicí impulsy (na sběrnicích P1.1, P1.2, P1.3, P1.4, P1.5 a P1.6), ovládací signály (na sběrnicích P1.0, P3.2, P3.3, P3.4 a P3.5) a blokovací signály (na sběrnicích P1.7 a P3.4) z mikropočítače SAB80C535 (z bloku **řídicího systému tvorby pulsů**).

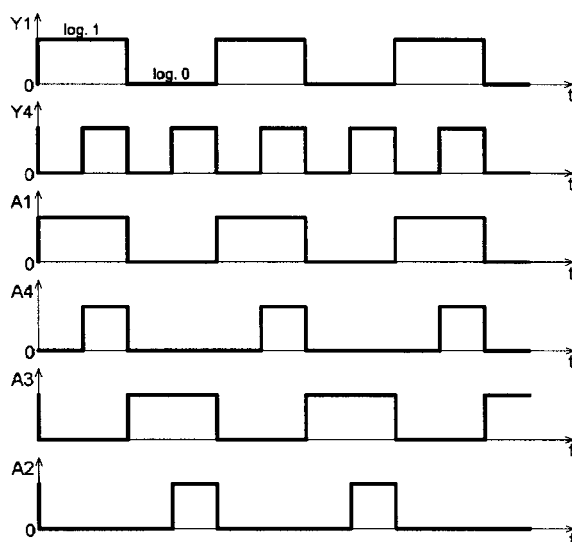


Obr. 2.8. Adaptér s pamětí dat 8 KB

Obr. 2.9. Schéma bloku s označením ***obvody úpravy, rozdělení a blokování pulsů***

V bloku **obvodů úpravy, rozdělení a blokování pulsů** se v kombinačních logických obvodech modifikují řídicí pulsy ovládacími a blokovacími signály tak, aby umožňovaly dříve uvedené čtyři varianty řízení střídače (obdélníkově šířkové a komparační PWM řízení pro jednofázovou zátěž a obdélníkově šířkové a komparační PWM řízení pro trojfázovou zátěž) a aby je bylo možné z výstupu tohoto bloku zavést přímo do bloku obvodů budičů a galvanického oddělení střídače (viz obr. 2.1).

Nejprve jsou signály z mikropočítače SAB80C535 výkonově zesíleny budiči sběrnic typu 74LS244. Výkonové zesílení je nutné pro krytí špiček vstupních proudů připojených obvodů LS TTL (při přechodech signálů na jejich vstupech mezi úrovněmi „log. 0“ a „log. 1“) a pro vytvoření strmějších náběžných a sestupných hran signálů.



Obr. 2.10. Průběh řídicích pulsů při jednofázovém obdélníkově šířkovém řízení výstupního napětí

Při jednofázovém obdélníkově šířkovém řízení výstupního napětí se využívají řídicí pulsy P1.1 a P1.2, které jsou výkonově zesilovány budičem sběrnic U1B. Budič se aktivuje úrovní „log. 1“ ovládacího signálu P3.4. Při uvedeném způsobu řízení mají řídicí pulsy P1.1 a P1.2 na výstupech Y1 a Y4 budiče U1B průběh podle horní části obr. 2.10, přičemž pro buzení střídače musí mít impulsy na vstupech A1 až A4 dalšího budiče sběrnice U2B průběh podle dolní části obr. 2.10.

Pro úpravu pulsů jsou mezi budiče I1B a U2B zapojena hradla U3D, U4B a U4C. Při úrovni „log. 1“ na výstupu Y1 budiče U1B je tato úroveň zároveň i na vstupu A1 budiče U2B. Na vstupu A3 budiče U2B je díky invertoru U3D úroveň invertovaná, tj. „log. 0“. Hradlo U4C zajistí, že na vstupu A4 budiče U2B bude „log. 1“ pouze tehdy, pokud „log. 1“ bude na výstupech Y1 a Y4 budiče U1B. Stejnou úlohu plní i hradlo U4B, „log. 1“ však na vstupu A2 budiče U2B bude pouze tehdy, když je výstup Y1 budiče U1B ve stavu „log. 0“ a výstup Y4 ve stavu „log. 1“. Tím je splněn požadavek, že na vstupu A4 budiče U2B může být „log. 1“ pouze tehdy, pokud bude „log. 1“ i na vstupu A1. To samé platí pro vstupy A3 a A2.

Výstupy budiče U2B s upravenými řídicími pulsy se aktivují úrovní „log. 0“ ovládacího signálu P3.2.

Při jednofázovém komparačním PWM řízení výstupního napětí se využívají pouze řídicí pulsy P1.1, které jsou výkonově zesilovány budičem sběrnic U1B. Budič se aktivuje úrovní „log. 1“ ovládacího signálu P3.4. Pulsy z výstupu Y4 budiče U1B se zavádějí do vstupů A3 a A4 budiče U2A přímo a do vstupů A1 a A2 budiče U2A přes invertor U3E.

Výstup budiče U2A s upravenými řídicími pulsy se aktivuje úrovní „log. 0“ ovládacího signálu P3.3.

Při trojfázovém komparačním PWM řízení výstupního napětí se využívají řídicí pulsy P1.1, P1.2 a P1.3, které jsou výkonově zesilovány budičem sběrnic U1A. Budič se aktivuje úrovní „log. 1“ ovládacího signálu P3.5. Pulsy z výstupu Y1 budiče U1A se zavádějí do vstupu A1 výstupního budiče U5A přímo a do vstupu A2 budiče U5A přes invertor U3A. Další impulsy se upravují podobně, jak je to zřejmé ze schématu na obr. 2.9.

Výstupy budičů U5A a U5B s upravenými řídicími pulsy se aktivují úrovní „log. 0“ ovládacího signálu P3.5.

Při trojfázovém obdélníkově šířkovém řízení výstupního napětí se využívají všechny řídicí pulsy P1.1, P1.2, P1.3, P1.4, P1.5 a P1.6 a jejich průběh se nijak neupravuje. Pulsy jsou pouze výkonově zesilovány budiči sběrnic U6A a U6B. Budiče se aktivují úrovní „log. 0“ ovládacího signálu P1.0.

Stavy ovládacích signálů při různých způsobech řízení výstupního napětí střídače jsou shrnuty v tab. 2.1. Stejnou pravdivostní tabulkou se řídí i mikropočítač SAB80C535. Podle této pravdivostní tabulky je vždy vybrána jedna ze čtyř možností řízení a výstupy budičů sběrnic určených pro ostatní způsoby řízení se chovají tak, jako by ke sběrnicím nebyly vůbec připojeny.

Upravené řídicí impulsy se vedou z budičů sběrnic U2, U5 a U6 do zpožďovacích obvodů s hradly U7 až U10. Zpožďovacími obvody se řídicí pulsy poněkud zkracují tak, aby mezi pulsy navazujícími na sebe vznikly mezery, které zabraňují současnému sepnutí dvojic IGBT tranzistorů připojených k témuž vývodu zátěže střídače - např. VT1 a VT4 (tím by se zkratoval napájecí zdroj střídače a tranzistory by se zničily). Mezery musí být delší než doba potřebná k obnovení blokovacích schopností výkonového tranzistoru. Střídač, pro který je popisovaná řídicí jednotka určena, vyžaduje zkrácení pulsů o 1 až 1,5 μs. U realizovaných zpožďovacích obvodů s hodnotami součástek podle schématu bylo změřeno zkrácení o 1,3 μs.

Ke zpoždění hran pulsů jsou použity integrační články *RC*, jejichž výstupní analogové napětí je ošetřeno Schmittovými klopnými obvody (U8) typu 74LS14.

Pokud např. vstupy *1* U7A a *1* U9A přejdou ze stavu „log. 0“ do stavu „log. 1“, potom výstup *3* U9A přejde do „log. 1“ až po uplynutí času 1,3 μs, po němž se vlivem článku *R1, C1* překlopí výstup Schmittova klopného obvodu *12* U8A z „log. 0“ do „log. 1“. Při přechdu vstupů *1* U7A a *1* U9A ze stavu „log. 1“ do stavu „log. 0“ přejde výstup *3* U9A do stavu „log. 0“ téměř okamžitě (se zpožděním několika ns hradla U9A), protože integrační článek *R1, C1* je „mimo hru“.

Napěťový střídač, pro který byla řídicí jednotka konstruována, má vstupy bloku obvodů budičů a galvanického oddělení aktivní ve stavu „log. 0“ a jejich úroveň „log. 1“ odpovídá napětí +15 V.

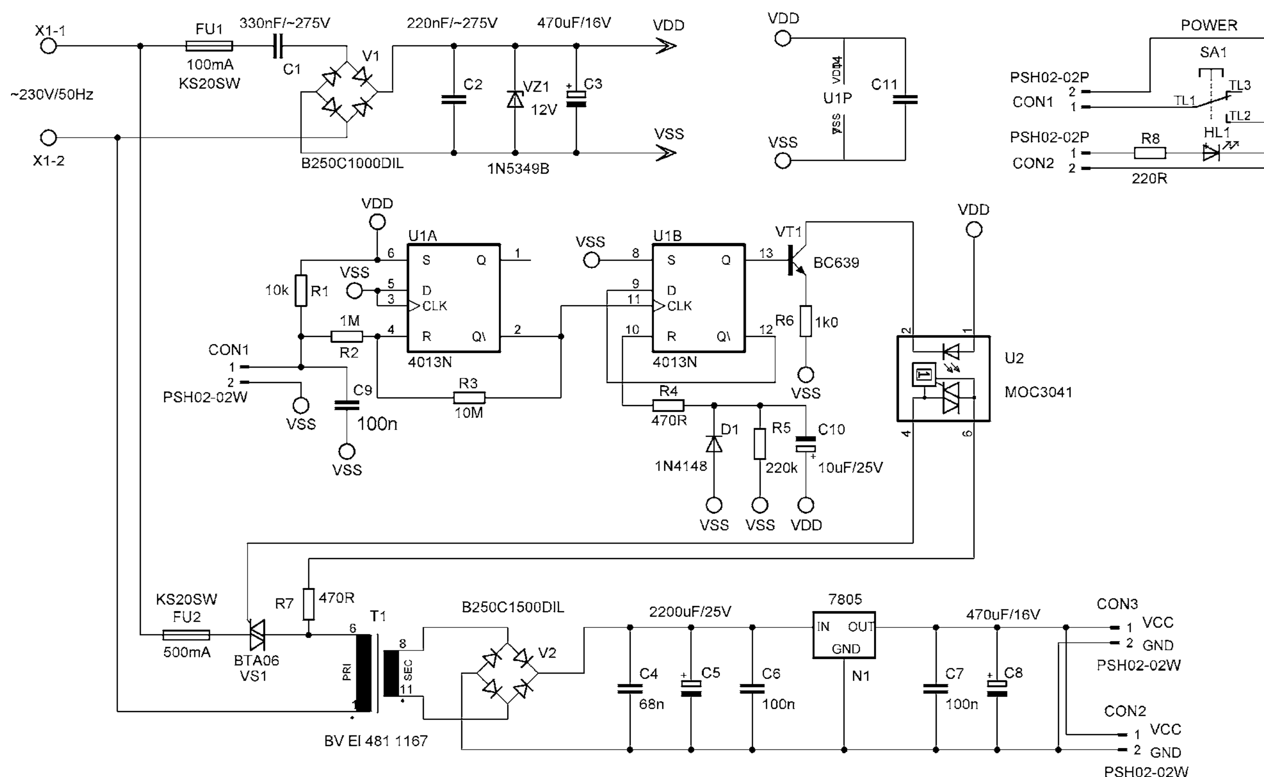
Proto se řídicí pulsy z výstupů zpožďovacích obvodů vedou na výstupní konektor CON6 přes invertující budiče sběrnice U12A a U12B a přes posouvače úrovně s otevřeným kolektorem typu 74LS07 (U13). Napětí *VDD* = 15 V se do posouvačů úrovně přivádí přes konektor CON6 ze střídače.

Konektor CAN6 je typu CAN 25 Z a je umístěn na zadním panelu skříňky řídicí jednotky. Řídicí jednotka je s napěťovým střídačem propojena krátkým osmižilovým kabelem.

Blokovací obvod s hradly U9B, U10A, U4A a U11 kontroluje, zda výstupy dvojic hradel U9A a U9C, U9D a U10B nebo U10C a U10D nejsou sou-

Tab. 2.1. Pravdivostní tabulka pro výběr čtyř variant řízení střídače

Řízení výstupního napětí	P1.0	P3.2	P3.3	P3.4	P3.5
jednofázové obdélníkově šířkové	1	0	1	1	1
jednofázové komparační PWM	1	1	0	1	0
trojfázové komparační PWM	1	1	1	0	1
trojfázové obdélníkově šířkové	0	1	1	0	1



Obr. 2.11. Napájecí zdroj řídicí jednotky

časně ve stavu „log. 1“, což by mohlo vést k havárii střídače. Pokud by tomu tak bylo, zablokují se budiče U12 a tím přeruší cestu řídicích pulsů do napěťového střídače.

Cestu řídicích pulsů přes budič U12 do střídače může přerušit i mikropočítač SAB prostřednictvím blokovacích signálů P1.7 a P3.4. Aby řídicí pulsy přes U12 procházely, musí být při třífázovém řízení oba signály P1.7 i P3.4 ve stavu „log. 0“. Při jednofázovém řízení musí být signál P1.7 ve stavu „log. 0“ a signál P3.4 ve stavu „log. 1“.

Všechny součástky tohoto bloku jsou umístěné na samostatné desce s dvoustrannými plošnými spoji.

2.3. Napájecí zdroj řídicí jednotky

Schéma napájecího zdroje řídicí jednotky je na obr. 2.11.

Celá řídicí jednotka vyžaduje pouze jediné napájecí napětí 5 V a napájecí proud asi 300 mA. Proto je její napájecí zdroj velmi jednoduchý.

Je tvořen síťovým transformátorem T1 (230 V/9 V/10 VA), můstkovým usměrňovačem V2, vyhlazovacím kondenzátorem C5 a monolitickým stabilizátorem N1 typu 7805. Na stabilizátoru se rozptyluje výkon 1,9 W, proto je doplněn hliníkovým chladičem o rozměrech 35x25x5 mm. Kondenzátor C8 zlepšuje filtraci výstupního napětí, kondenzátory C4, C6 a C7 filtrují vf složky napájecího napětí a zabraňují kmitání stabilizátoru. Přítomnost napájecího napětí indikuje LED HL1.

Primární vinutí transformátoru T1 je jištěno pojistkou FU2.

Napájecí zdroj řídicí jednotky se zapíná elektronickým spínačem (podle [1] s triakem VS1. Elektronický spínač je tvořen ovládacím tlačítkem SA1 (POWER), ovládacím obvodem s IO U1 a optočlenem U2, triakem VS1 a pomocným napájecím zdrojem. Přes triak VS1 se přivádí vnější síťové napětí ze svorek X1-1 a X1-2 na transformátor T1.

Elektronický spínač funguje tak, že po přivedení vnějšího síťového napětí na svorky X1-1 a X1-2 se ovládací obvod s U1 inicializuje a triak VS1 se nastaví do vypnutého stavu. Pak se prvním stisknutím tlačítka SA1 triak sepne, dalším stisknutím vypne atd.

IO U1 v ovládacím obvodu je dvojitý bistabilní klopný obvod D typu 4013. U1A tvaruje signál z ovládacího tlačítka SA1 a odstraňuje zákmity kontaktů tlačítka. U1B je zapojen jako dělička dvěma (jeho negovaný výstup Q\ je spojen se vstupem D). Proto U1B mění při každém stisknutí tlačítka svůj stav na opačný.

Po přivedení vnějšího síťového napětí se U1B inicializuje (vynuluje) obvodem s kondenzátorem C10 a několika dalšími součástkami. Signálem z výstupu U1B je přes tranzistor VT1 a optočlen U2 s optotriakem ovládán triak VS1.

Pomocný zdroj pro napájení elektronického spínače využívá pro zmenšení síťového napětí předřadný kondenzátor C1. Proud ze sítě omezený kondenzátorem C1 je usměrňován diodovým můstkem V1 a na Zenerově diodě VZ1 s paralelně připojeným vyhlazovacím kondenzátorem vytváří stejnosměrné napětí 12 V. Pomocný zdroj je jištěn pojistkou FU1.

Všechny součástky zdroje i elektronického spínače jsou umístěné na samostatné desce s jednostrannými plošnými spoji. Ovládací tlačítko SA1 s indikační LED HL1 je umístěno na přední stěně skříňky řídicí jednotky.

2.4. Konstrukce řídicí jednotky

Všechny obvody řídicí jednotky jsou zkonstruovány na čtyřech deskách s plošnými spoji, které jsou umístěny do ploché kovové skříňky o vnějších rozměrech asi 300x216x80 mm.

Konstrukci ilustrují obr. 2. 15 a obr. 2.16 na konci článku a fotografie na obálce časopisu.

2.5. Programové vybavení řídicí jednotky

Pro vývoj software bylo použito vývojové prostředí Systronix RAD51, určené pro psaní programu v jazyku symbolických adres (assembleru). Tento program barevně rozeznává instrukce, čísla a poznámky umístěné za středníkem a tím se psaný text stává velmi přehledným.

Program komunikačního rozhraní pro mikropočítač AT89C52 byl simulován na PC programem µVision2. Odlaďování probíhalo přímo v aplikaci neustálým přepisováním Flash paměti až do konečné podoby. Hlavním úkolem bylo zabezpečit správnou délku zobrazování informací na LCD displeji a odpovídající reakci na stisknuté tlačítko.

Program tvorby pulsů pro mikropočítač SAB80C535 byl rovněž simulován na PC programem µVision2. Konečné odlaďování probíhalo za pomocí simulátoru paměti EPROM přímo na zhotoveném systému.

Při zapnutí řídicí jednotky se oba mikropočítače (AT89C52 i SAB80C535)

vynulují. Než se provedou patřičná základní nastavení, jsou blokována všechna přerušení, která mohou nastat.

Vývojový diagram struktury obou programů, kterými jsou mikropočítače řízeny, je naznačen na obr. 2.12.

Mikropočítač AT89C52, který má za úkol zajistit komunikaci s uživatelským rozhraním, nejdříve inicializuje displej LCD. Postup inicializace je dán předpisem pro každý typ displeje. Po uskutečnění inicializace se na displeji zobrazí text *Inicializace LCD byla provedena*. Poté se nastaví parametry sériové linky pro komunikaci s mikropočítačem SAB80C535 a pak pokračuje menu (obr. 2.13).

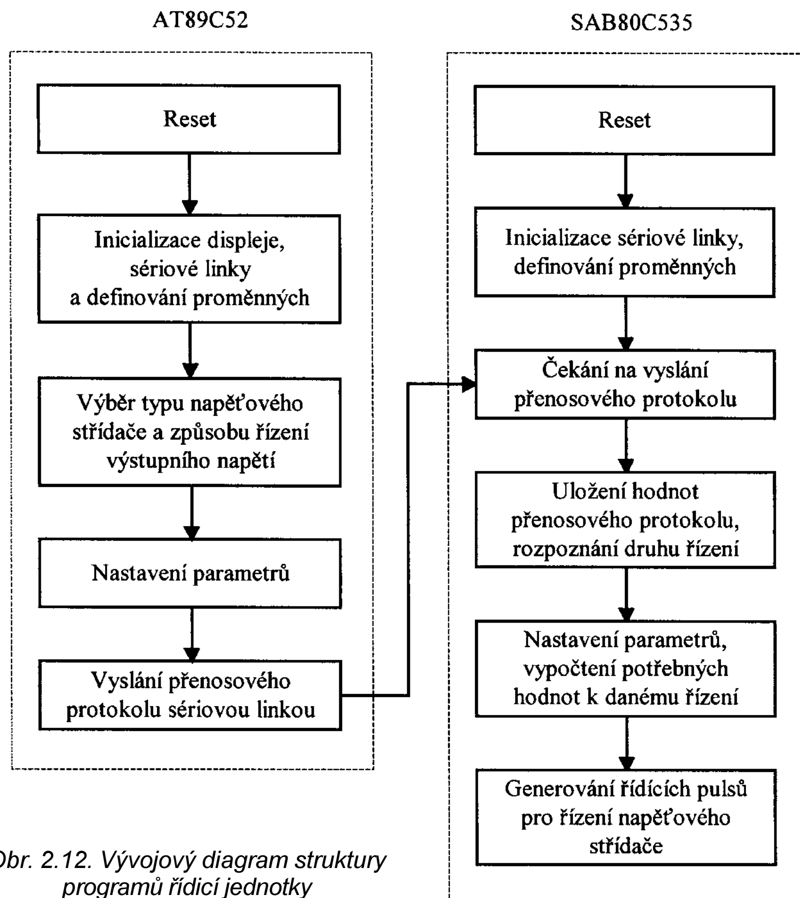
Menu displeje má dva druhy nabídek:

- nabídka, ve které se provádí určitý typ výběru,
- nabídka, ve které se nastavují hodnoty.

K pohybu v menu slouží čtyři tlačítka (Up, Down, Ent. a Esc.). Ovládací program menu je sestaven tak, aby se při prvním aktivování nastavovací nabídky, ve které se pomocí tlačítek Up a Down mění hodnota, vypisovala na displej „jmenovitá" programem zvolená hodnota. V nastavovací nabídce s výpisem textu na displeji *výstupní frekvence* je to např. 50 Hz, jak je zřejmé z obr. 2.13. V ovládacím menu displeje nejsou pro přehlednost zobrazeny funkce tlačítek Up a Down tam, kde se jedná právě o nastavování těchto hodnot. Po vybrání parametrů pro zvolený druh řízení se vyšle přenosový protokol mikroprocesoru SAB80C535, jak je uvedeno na obr. 2.12. Jestliže se vrátíme tlačítkem Esc. do předchozí nabídky, potom je na displeji zobrazena naposledy nastavená hodnota (tj. pokud při posledním odvysílání přenosového protokolu byla nastavena výstupní frekvence např. 36 Hz, je tato frekvence zobrazena i po opětovném vrácení se do této nabídky). Ovšem při návratu do jakékoliv nabídky výběru (např. *Šířková - Up*, *PWM - Down*) budou opět v nastavovacích nabídkách zobrazeny „jmenovité" programem zvolené hodnoty. Tato funkce (ukládání si posledně nastavených hodnot) usnadňuje práci při laboratorních měřeních na této řídicí jednotce.

Při obdélníkovém šířkovém řízení výstupního napětí lze při jednofázovém spojení měnit programový úhel po jednom stupni v rozsahu 1 až 180° a při trojfázovém spojení v rozsahu 61 až 180°. Výstupní frekvenci lze měnit v obou spojeních po 1 Hz v rozsahu 1 až 90 Hz.

Při jednofázovém i trojfázovém komparačním PWM řízení výstupního napětí lze volit výstupní spínací frekvenci 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 1,5 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz a 8 kHz, výstupní napětí po 1 % v rozsahu 1 až 100 % a výstupní frekvenci po 1 Hz v rozsahu 1 až 100 Hz.



Obr. 2.12. Vývojový diagram struktury programů řídicí jednotky

Při tvorbě programu byla věnována pozornost snadnému a rychlému nastavování hodnot proměnných. Proto se v nastavovacích nabídkách hodnoty samovolně přičítají (odečítají) při delším stisknutí tlačítka Up (Down).

Pokud je rozsah hodnot velký (např. 1 až 180°), je přičítání mnohem rychlejší než např. v nabídce *výstupní spínací frekvence*, kde je výběr omezen na osm různých hodnot.

Přenosový protokol posílaný mikropočítačem AT89C52 má pevně stanovený charakter a úkolem mikropočítače SAB80C535 je správně jej dekódovat.

Přenosový protokol obsahuje čtyři byte:

První byte určuje typ střídače (jednofázové nebo trojfázové spojení) a druh řízení výstupního napětí (šířkové nebo PWM). V obou programech, určených pro mikropočítače, má název *Rizeni* (registr rozlišení řízení).

V programu pro AT89C52 je tento byte umístěn v bitově adresovatelném paměťovém prostoru a k nastavování jeho hodnoty se využívají pouze poslední dva bity s označením *f1_f3* (bit 7) a *Sir_Pwm* (bit 8). Při jednofázovém spojení je *f1_f3* nastaven, při trojfázovém spojení pak nulován. Při šířkovém řízení je *Sir_Pwm* nastaven, při PWM nulován.

Aby byte *Rizeni* nemohl nikdy mít nulovou hodnotu, je k němu programově přičtena jednička.

Takto definovaný byte *Rizeni* může mít pouze následující hexadecimální hodnoty:

C1H při jednofázovém obdélníkově šířkovém řízení výstupního napětí,

81H při trojfázovém obdélníkově šířkovém řízení výstupního napětí,

41H při jednofázovém komparačním PWM řízení výstupního napětí,

01H při trojfázovém komparačním PWM řízení výstupního napětí,

AAH při blokování pulsů.

Výjimku tvoří pouze hodnota ***AAH***, která je přiřazena přímo programem (tzn., že se nevytváří postupným procházením jednotlivými nabídkami, jako uvedené čtyři hodnoty rozlišující způsob řízení).

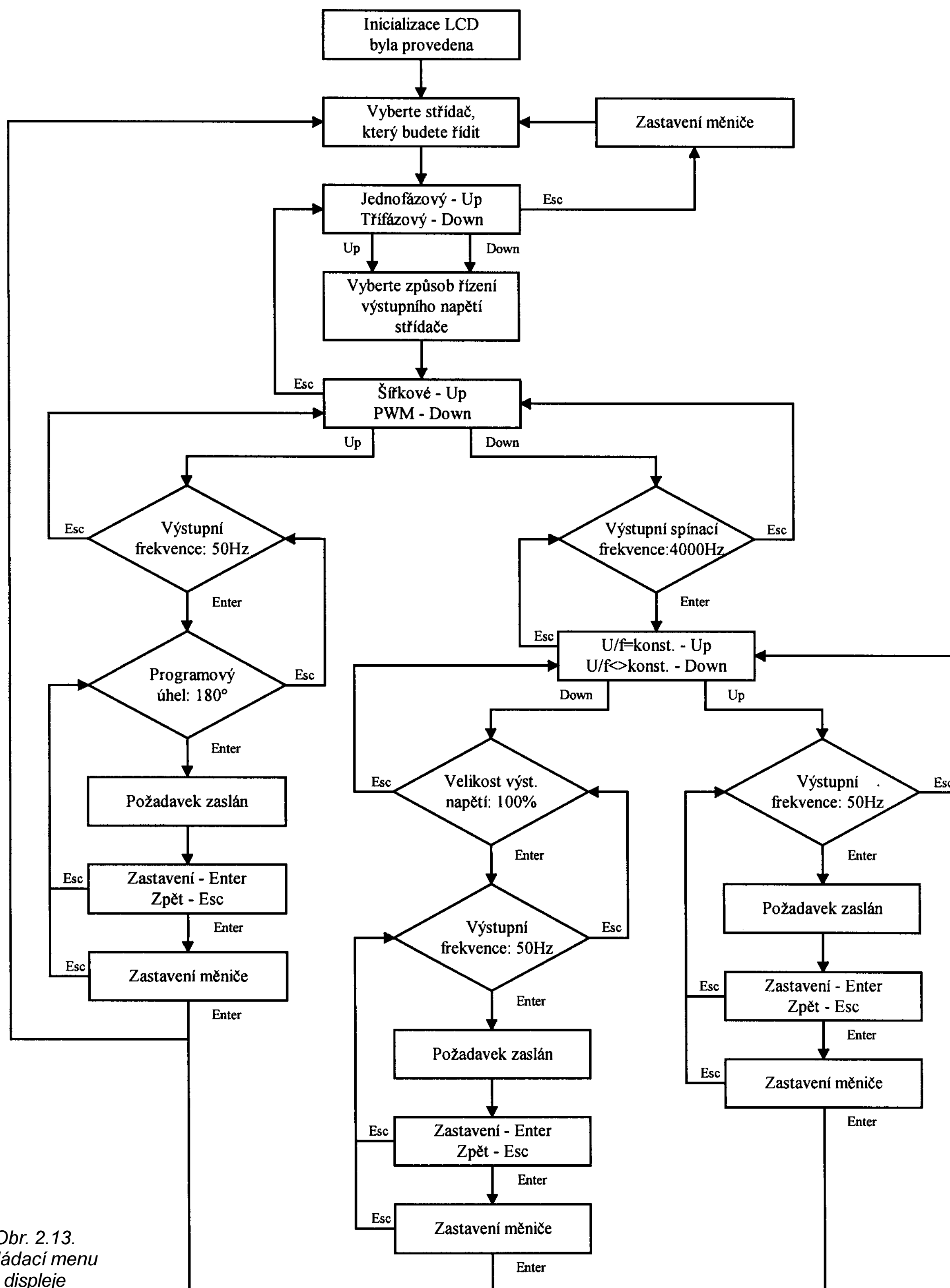
Druhý byte je tvořen hodnou výstupní spínací frekvence a je označen *SpinFr*. U šířkového řízení je tato hodnota nulová a programem je ignorována.

Třetí byte *VystFr* udává zvolenou hodnotu výstupní frekvence.

Poslední čtvrtý byte *RiUhVyNa* určuje při zvoleném šířkovém řízení hodnotu řídicího úhlu a při PWM řízení pak v procentech hodnotu výstupního napětí.

Po správném dekódování přenosového protokolu mikropočítačem SAB80C535 se nastaví zvolené parametry, vypočtou se a uloží potřebné hodnoty a nakonec se začnou generovat řídicí impulsy pro střídač.

Podrobný popis jednotlivých algoritmů řízení by byl značně obsáhlý, a proto je v následujícím textu velmi stručně nastíněn jejich princip.



Obr. 2.13. Ovládací menu displeje

Program mikropočítače SAB80C535 má název *Rizeni.asm*. Ve formě dokumentu *Rizeni.doc* obsahuje 39 stránek se zvolenou velikostí písma 9, z toho na pěti stránkách jsou umístěné tabulky programu.

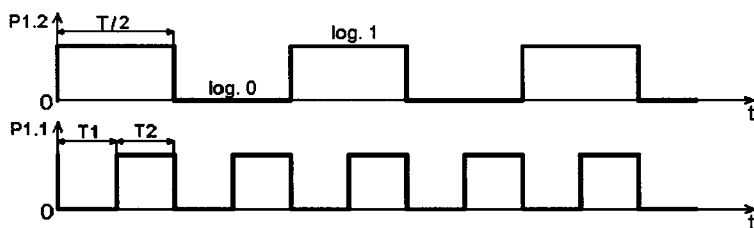
Program mikropočítače AT89C52 má název *Kom_LCD.asm* a dokument *Kom_LCD.doc* má rozsah 28 stránek se zvolenou velikostí písma 9. Dokumenty jsou upraveny přímo k vytištění.

Oba programy jsou k dispozici v redakci KE.

Před započetím řízení se nastaví správné kombinace ovládacích signálů P1.0 a P3.2 až P3.5 (viz tab. 2.1) na výstupu mikropočítače SAB80C535, které řídí blok obvodů úpravy, rozdělení a blokování pulsů podle druhu zvoleného řízení, a také se nastaví priority jednotlivých úrovní přerušení.

Při jednofázovém obdélníkovém šířkovém řízení výstupního napětí se využívá pouze *čítač/časovač 0* s nastavenou nejvyšší prioritou úrovně přerušení (tj. 3) v registrech *IP0* a *IP1*. *Čítač/časovač 0* pracuje v modu 1 jako šestnáctibitový čítač. Sériová linka má nastavenou prioritu úrovně přerušení 1.

Při tvorbě řídicích pulsů se vychází z předpokladu, že se půlperioda T/2 výstupního kmitočtu rozdělí na dvě části T1 a T2 (viz obr. 2.14). Každá část znázorňuje časovou délku úseku, jejíž velikost závisí na zvoleném programovém úhlu a výstupní frekvenci. Po vypočtení délek časů T1 a T2 se programem sestaví dvě šestnáctibitové hodnoty,



Obr. 2.14. Průběhy řídicích pulsů

které se při jednofázovém šířkovém řízení neustále opakovaně vkládají do registrů *TH0* a *TL0 čítače 0*. Po přetečení *čítače 0* se v obslužném programu přerušení pracuje s příslušnými adresovatelnými bity P1.1 a P1.2 a zaručí se tak správná spínací kombinace.

Trojfázové obdélníkové šířkové řízení výstupního napětí využívá *čítač/časovač 0*, *čítač/časovač 1* a *čítač/časovač 2* s nastavenou nejvyšší prioritou úrovně přerušení (tj. 3), sériová linka má nastavenou prioritu úrovně přerušení 1.

Všechny tři *čítače/časovače* pracují v módu 1 jako šestnáctibitové čítače. Princip generování řídicích pulsů je obdobný jako u jednofázového šířkového řízení. Programově je zajištěno, aby generované pulsy byly vzájemně posunuté o 120° elektrických.

Při jednofázovém komparačním PWM řízení se využívá pro vytváření řídicích pulsů *čítač/časovač 2*, který disponuje doplňkovými funkcemi automatického plnění a porovnávání. Funkce automatického plnění, kdy se využívají dva osmibitové registry *CRCH* a *CRCL*, slouží k nastavení periody pulsně šířkové modulace - spínací frekvence. Pro stanovení spínací frekvence je používán mód 0, tj. funkce automatického plnění. V tomto módu se při přetečení *čítače 2* (FFFFH → 0000H) přenesou hodnoty přednastavené v registrech *CRCH* a *CRCL* do registrů *TH2* a *TL2*. *Čítač 2* potom nečítá od hodnoty 0000H, ale od hodnoty, která je uložena v registrech *CRCH* a *CRCL*. Registry *CRCH* a *CRCL* se plní z tabulky hodnot.

Každé výstupní spínací frekvenci, kterou lze při řízení zvolit, náleží příslušná tabulka hodnot vypočtená v programu Microsoft Excel pro velikost výstupního napětí 100 %. Tabulky jsou uloženy v paměti programu. Hodnoty z vybrané tabulky se před započetím řízení přepočítávají pro konkrétní velikost výstupního napětí (zvolenou v procentech z plného napětí) a následně ukládají do paměti dat.

Při přetečení *čítače 2* se vyvolá přerušení a současně výstup *P1.1* automaticky přejde do úrovně „log. 0" (u trojfázového řízení přejdou automaticky do úrovně „log. 0" výstupy *P1.1*, *P1.2*, *P1.3*). Při obsluze tohoto přerušení je třeba nastavit hodnoty srovnávacích registrů *CCH1* a *CCL1* (u trojfázového řízení registrů *CCH1* a *CCL1*, *CCH2* a *CCL2*, *CCH3* a *CCL3*). Tyto hodnoty jsou ještě před generováním samotného přerušení *čítačem 2* přečteny z paměti dat a uloženy na paměťová místa s názvem *Hod_CCH1* a *Hod_CCL1* (u trojfázového řízení se tato paměťová místa nazývají *Hod_CCH1* a *Hod_CCL1*, *Hod_CCH2* a *Hod_CCL2*, *Hod_CCH3* a *Hod_CCL3*). Díky uložení těchto hodnot je možné v co nejkratším čase naplnit komparační registry. Doba naplnění komparačních registrů omezuje maximální velikost výstupní spínací frekvence.

Při rovnosti obsahu registrů *CCL1* a *CCH1* (u trojfázového řízení při rovnosti obsahu dvojic registrů *CCH1* a *CCL1*, *CCH2* a *CCL2*, *CCH3* a *CCL3*) s čítacími registry *TL2* a *TH2* se změní logická úroveň na výstupu *P1.1* do stavu „log. 1" (u trojfázového řízení se změní do stavu „log. 1" úroveň na výstupech *P1.1*, *P1.2*, *P1.3*).

Vypočtené tabulky v programu Microsoft Excel jsou umístěny v souboru s názvem *Vyp_tab.xls* (stejně jako programy pro řídicí jednotku, i tyto tabulky jsou k dispozici v redakci KE).

Závěr

Článek referoval o funkci a zapojení jednofázových a trojfázových nepřímých měničů kmitočtu s napěťovým střídačem s vlastní komutací a podrobněji se věnoval obvodovému a programovému řešení řídicí jednotky, která generuje řídicí pulsy pro střídač.

Účelem článku bylo seznámit čtenáře s tématikou sice silnoproudou, ve které se však stále ve větším rozsahu používají díly z oblasti slaboproudé řídicí elektroniky.

Vážným zájemcům může redakce poskytnout na CD celý rukopis, který navíc proti článku v časopisu obsahuje další podrobnosti popisu řídicí jednotky, a to obrázky desek s plošnými spoji, výkresy mechanických dílů skříňky, programy mikropočítačů a výsledky měření. Tito zájemci však musí do redakce doručit prázdný CD-R.

E-mail autora je: r.hrbac@seznam.cz

Literatura

[1] Stiskem zapni, stiskem vypni. Praktická elektronika *2/1999*. AMARO, 1999, Praha. ISSN 1211-328X.

[2] *Brandštetter, P.*: Elektronika. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999, Ostrava. ISBN 80-76056-72-8.

[3] Liquid Crystal Dispay Module. Katalogové listy firmy Everbouquet, 1997.

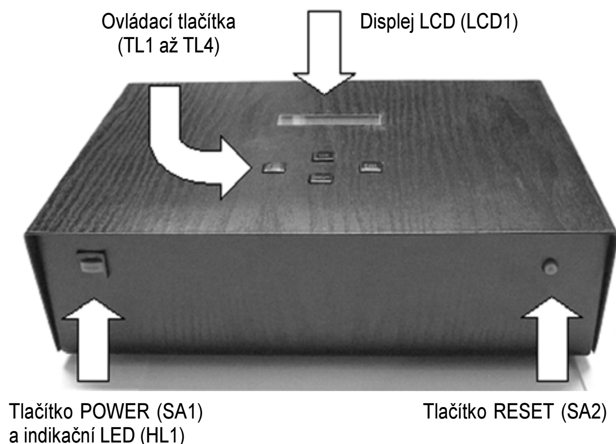
[4] *Fronc, V.; Kľúčík, J.*: Mikrokontroléry ATMEL s jádrem 8051. BEN, 2001, Praha. ISBN 80-7300-008-3.

[5] *Hrbáček, J.*: Komunikace mikrokontroléru s okolím - 1. díl. BEN, 1999, Praha. ISBN 80-86056-42-2.

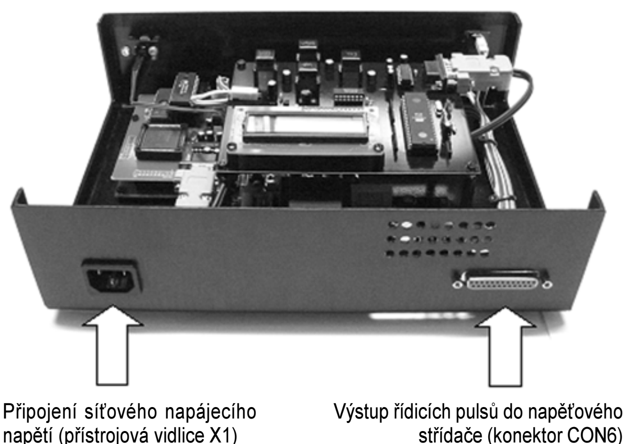
[6] *Matoušek, D.*: Číslicová technika - základy konstruktérské praxe. BEN, 2001, Praha. ISBN 80-7300-025-3.

[7] *Microcomputer Components SAB 80535/80C535*. Siemens AG, 1995, München.

[8] *Vondrášek, F.*: Výkonová elektronika svazek III - Měniče s vlastní komutací a bez komutace. Západočeská univerzita Plzeň, 1998, Plzeň. ISBN 80-7082-485-9.



Obr. 2.15. Přední a horní panel řídicí jednotky



Obr. 2.16. Zadní panel řídicí jednotky

Z dějin vědy a techniky

(dokončení ze str. 2)

Další, již praktický využitelný pokrok byl učiněn, když byly vynalezeny otáčivé stroje - parní stroj a později turbina ev. spalovací motor jako pohonná jednotka, a dynamo, později alternátor, coby generátory využitelné elektrické energie.

Ale to je již zase jiná kapitola...

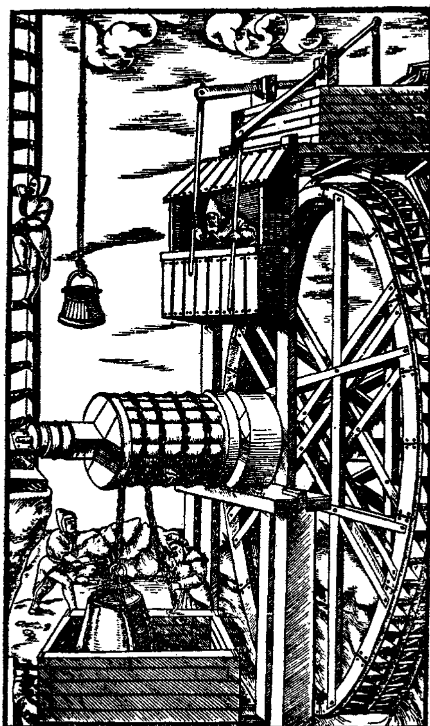


Jak bylo naznačeno již v předchozím přehledu učenců, skutečný rozvoj elektrotechniky mohl nastat teprve tehdy, když byly vynalezeny stroje schopné otáčet rotorem dynam a alternátorů.

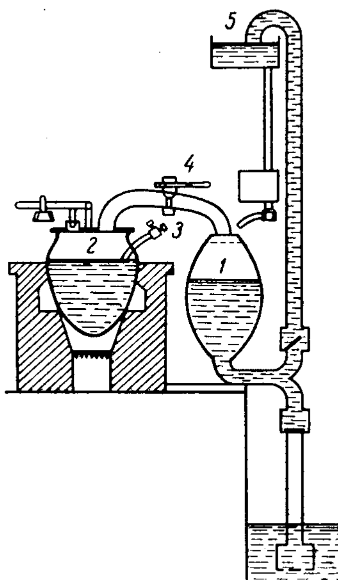
Pomineme-li primitivní pomaloběžná vodní kola, jednou z významných pohonných jednotek byl bezesporu parní stroj. Jeho vynález však ovlivnil přímo či nepřímo prakticky všechna průmyslová odvětví.

Dionysius Papin

Dionysius Papin (1647 až 1712) se narodil v Blois, jižně od Paříže, a studoval lékařství v Paříži. Tam se seznámil s Huyghensem a s Leibnitzem.



Vynález parního stroje podnítila stále se zvyšující spotřeba energie - převážně v hornictví. Dříve bylo nutno používat výhradně sílu lidí, zvířat a vody. Důlní stroj na obrázku (16. století) je poháněn vodou a umožňuje pouštěním vody na určité lopatky kola obousměrný chod. Další zvyšování výkonů a rychlostí - jak je z obrázku zřejmé - už vodní kola zvládnout téměř nemohla



Nákres Saveryho parního čerpadla - tento stroj byl jako první (byť omezeně) použitelný pro čerpání vody z dolů. Proto ho asi Savery nazval „Přítel horníků". Při otevřeném ventilu 4 se tlakem páry vyráběné v kotli 2 vytlačovala voda z nádrže 1 nahoru. Po uzavření ventilu 4 a ochlazení nádrže 1 v ní vznikl podtlak, takže se do ní nasávala voda zdola

Huyghens se již tehdy zabýval pokusy s vývěvou a navrhl stroj, který by čerpal vodu ze Seiny pro vodotrysky krále Ludvíka XIV. Skutečně takovou pumpu, ve které na píst působil plyn vzniklý výbuchem střelného prachu, sestrojil.

Papin pak vzhledem ke své protestantské víře musel Francii opustit a uchýlil se do Marburku na univerzitu, kde se snažili nahradit sílu plynu při výbuchu tlakem horké páry. Papin takový stroj vymyslel - dokonce jej popsal dříve, než mohl být (pro nedostatek finančních prostředků díky neustálým válkám mezi Hesenskem a Francií) realizován. Přišel dokonce na myšlenku vysokotlakého parního stroje, při kterém by nebylo třeba prostor s párou chladit.

Další myšlenkou bylo využít takový stroj na pohon lodí lopatkovými koly. Než bylo možné jeho myšlenky realizovat, zabýval se ponorným člunem a odstředivým čerpadlem, které bylo využíváno jako ventilátor.

Mezitím primitivní parní stroje již byly vynalezeny a dány do provozu v Anglii např. u lorda Sommerseta, který si dokonce složil modlitbu k tomu, aby nezpychnul, když má v provozu takový vynález!

Další Angličan Savery pak tento stroj předvedl roku 1699 anglickému králi a členům Royal Society. Když se o tom dozvěděl kasselský landkrabí, uložil Papinovi, aby něco podobného také vyrobil.

Podařilo se to roku 1706, když jeho pumpa poháněná parním strojem dokázala vytlačit vodu do výšky 22 metrů. Problém byl ale s potrubím, které nevydrželo takový tlak vody. Lankrabí pak nechal zhotovit potrubí měděné, ale to bylo nakonec využito na jiné účely.

Papin se pro neshody rozhodl odejet do Anglie. Ještě před tím však zveřejnil popis svého parního stroje, jeden výtisk poslal Leibnitzovi (ten Papina od cesty velmi zrazoval). V popisu také uvedl návrh samočinného rozvodu páry (do té doby obsluhoval kohout rozvodu člověk).

Na cestu do Anglie si pořídil loď, kterou chtěl později v Anglii vybavit parním pohonem, jenže když plul po proudu Wesery, tamější lodníci mu loď zničili, protože nestrpěli cizí plavidla.

V Anglii poznal, že nemá žádné přátele, a Royal Society ho nepřijala. Zemřel nakonec chudý a opuštěný neznámo kde, pravděpodobně roku 1712.

Papinův popis se nakonec dostal do rukou zručnému kováři, který se spojil se Saverym, a v roce 1711 se skutečně dostal do praktického provozu první nízkotlaký parní stroj s parním válcem a pístem, později doplněný samostatným rozvodem páry.

Literatura

[1] *Lilley, S.:* Stroje a lidé v dějinách. Orbis, Praha 1973.

[2] *Ducasse, O.:* Historie des techniques. Paris 1974.

[3] *Feldhaus, F. M.:* Die Technik der Vorzeit der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker. München 1965.

[4] *Sworykin, A. A.:* Geschichte der Technik. Leipzig 1964.

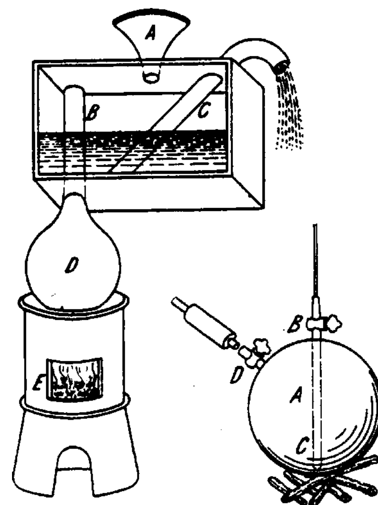
[5] *Gilbert, W.:* O magnite. Moskva 1956.

[6] *Lenard, P.:* Velcí přírodozpytci. ORBIS. Praha, 1943.

[7] Encyclopedia Brittanica.

[8] Encarta, internetová online encyklopedie.

QX



První neúspěšné modely parních čerpadel z počátku 17. století. Tato čerpadla měla stříkat vodu z vodotrysků Ludvíka XIV